



Aalto-yliopisto
Kemian tekniikan
korkeakoulu

Sisätilapaikannusratkaisun yhdistäminen kyselytutkimussovellukseen

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Maankäyttötieteiden laitos
Diplomityö

Helsinki 26.8.2012


TkK Jukka-Pekka Suontaus

Valvoja: Professori Kirsi Virrantaus
Ohjaaja: FT Suvi Nenonen

~~Aalto-yliopisto~~
~~Insinööritieteiden korkeakoulu~~
~~Maankäyttötieteiden kirjasto~~

AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIEDEIDEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 AALTO http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Jukka-Pekka Suontaus			
Työn nimi: Sisätilapaikannusratkaisun yhdistäminen kyselytutkimussovellukseen			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Maankäyttötieteiden laitos			
Professori: Kartografia ja geoinformatiikka		Koodi: Maa-123	
Työn valvoja: Professori Kirsi Virrantaus			
Työn ohjaaja(t): FT Suvi Nenonen			
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tässä tutkimuksessa on kuvattu kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun yhdistäminen olemassa olevaan kyselytutkimusjärjestelmään. Tutkimuksen motivaationa on kehittää integraation kohteena ollutta sähköistä kyselytutkimussovellusta siten, että sitä voidaan hyödyntää tilojen käytettävyydestä tutkimuksessa yhtenä tiedonkeruumenetelmänä. Tutkimus on rajattu siten, että se keskittyy pääasiassa sisätilapaikannusratkaisun ja kyselytutkimussovelluksen yhdistämisen tekniseen toteutukseen.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi asetettiin neljä tutkimuskysymystä: Millaisia sisätilapaikannusratkaisuja on olemassa? Mikä olemassa olevista sisätilapaikannusratkaisusta soveltuu parhaiten kyselytutkimussovelluksen kontekstiin? Miten integraatio on toteutettavissa? Miten toteutettu prototyyppi toimii käytännössä? Tutkimuskysymyksiä vastaavat työvaiheet olivat vastaavasti kirjallisuuskatsaus, vaatimusten määrittely ja sisätilapaikannusratkaisuvaihtoehtojen kartoitus sekä prototyypin toteutus ja sen testaus käyttäjätestin avulla.</p> <p>Tutkimuksen tuloksina määritettiin erilaiset sisätilapaikannukseen käytössä olevat tekniset vaihtoehdot. Sisätilapaikannusratkaisut on jaettavissa karkeasti kolmeen pääryhmään; kolmiointi-, läheisyys- ja tietokantakorrelaatioperustaisiin menetelmiin. Integraation toteutukseen valittiin kaupallinen WLAN- ja GSM-signaaleja hyödyntävä tietokantakorrelaatioperustainen sisätilapaikannusratkaisu. Integraation yhteydessä toteutettiin käyttötapaus, jonka kautta paikannusratkaisua testattiin käytännössä. Testissä havaittiin, että sisätilapaikannusratkaisun tarkkuus ja luotettavuus eivät olleet riittävät paikannusta hyödyntävän käyttötapausten kannalta. Mahdollisiksi syiksi sisätilapaikannuksen epätarkkuuteen tunnistettiin WLAN-tukiasemien riittämätön lukumäärä, kartoitusvaiheessa mahdollisesti tapahtuneet virheet ja muutokset paikannettavassa tilassa.</p> <p>Jotta epätarkkuuteen johtaneet syyt saadaan varmuudella selville, esitettiin menetelmää toiseen kontrolloidumassa ympäristössä toteutettavaan testiin. Esitetyn kaltaisen testin tuloksena olisi mahdollista määrittää minimi vaatimukset paikannettavalle tilalle. Toinen tutkimuksessa ehdotettu ratkaisuvaihtoehto on toteuttaa jonkin toisen, esimerkiksi inertiasensori- ja tietokantakorrelaatioperustaisen, sisätilapaikannusratkaisun integraatio. Tällaisessa yhdistämisessä voidaan hyödyntää tässä tutkimuksessa toteutettuja ratkaisuperiaatteita.</p>			
Päiväys: 26.8.2012		Kieli: Suomi	
		Sivumäärä: 74 + 17	
Avainsanat: kyselytutkimussovellus, sisätilapaikannus, sormenjälkipaikannus			

AALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING PO Box 11000, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Jukka-Pekka Suontaus			
Title: Integration of survey application and indoor positioning solution			
School: School of Engineering			
Department: Department of Real Estate, Planning and Geoinformatics			
Professorship: Cartography and Geoinformatics		Code: Maa-123	
Supervisor: Professor Kirsi Virrantaus			
Instructor(s): Ph.D. Suvi Nenonen			
<p>Abstract:</p> <p>This research describes the process of integrating commercial indoor positioning solution and pre-existing survey application. The motivation of this research is to develop a survey application in such a way that it can be used as a data capturing method for the investigation of the usability of built environments. The main concentration of the research is in the technical implementation of the integration.</p> <p>Four research questions were set, in order to achieve the objectives of this research. What kind of indoor positioning solutions exists? What is the best indoor positioning technology in the context of survey application? How can the integration be implemented? How will the implemented prototype work in a realistic test environment? Research methods are correspondingly literature review, definition of requirements and possible indoor positioning solutions, prototype implementation and user testing.</p> <p>Different indoor positioning solution technologies were defined as a result for the research. In general, indoor positioning technologies can be divided to three wide categories. These are triangulation-, proximity and database correlation based solutions. The indoor positioning solution which was selected for the integration is based to database correlation. It utilizes radio frequency signals from WLAN- and GSM base stations. One result from the user test was that the reliability and the accuracy of the indoor positioning was not enough for the intended usage. Insufficient number of WLAN access points, errors during the radio map generation and changes in the environment were identified as possible causes for the results.</p> <p>A test performed in a more controlled environment was suggested as a method to ascertain the reasons for the poor behavior of the indoor positioning. By means of the suggested test, it would be possible to define the minimum requirements for the indoor positioning environment. Other solution suggested in this research was to implement the integration of some other commercial indoor positioning solution. For example, an indoor positioning solution based on database correlation and inertia sensors of mobile devices could improve the accuracy in environments with sparse WLAN networks. Such integration can be based on technical solutions similar to the one presented in this research.</p>			
Date: 26.8.2012		Language: Finnish	
		Number of pages: 74 + 17	
Keywords: indoor positioning, location fingerprinting, survey application			

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty osana Rakennetun ympäristön palvelut (BES) tutkimusryhmän hallinnoimaa Tekes Rymshok sisätilaoppimisympäristöprojektia. BES-tutkimusryhmä toimii Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakouluun kuuluvan Rakennustekniikan laitoksen alla.

Haluan esittää kiitokset mahdollisuudesta toteuttaa diplomityöni erityisen kiinnostavasta ja ajankohtaisesta aiheesta työni ohjaajalle Suvi Nenoselle ja valvojalleni Kirsi Virrantaukselle. Erityisesti haluan kiittää BES-tutkimusryhmän jäsentä ja Qualikyselytutkimussovelluksen alullepanijaa Inka Kojoa hyvistä neuvoista, päätöksenteon tuesta ja rakentavasta palautteesta diplomityöprosessin aikana.

Suuri kiitos tuesta ja kannustuksesta koko opiskeluaikani kuuluu erityisesti avopuolisolleni Helena Lehtoselle.

Helsingissä 26. elokuuta 2012

Jukka-Pekka Suontaus

Sisällysluettelo

1	Lyhenteet	1
2	Johdanto.....	2
3	Kirjallisuuskatsaus.....	5
3.1	Perinteiset mobiililaitteiden paikannusmenetelmät.....	5
3.2	Yleiskatsaus sisätilapaikannusratkaisuihin	6
3.2.1	Yleinen toimintamalli	6
3.2.2	Sijainninlaskentamenetelmät.....	7
3.3	Sormenjälkipaikannus	13
3.3.1	Sormenjälkipaikannuksen teoreettinen tausta	14
3.3.2	Sormenjälkipaikannuksen tarkkuudesta ja virhelähteistä.....	18
3.4	Sisätilapaikannuksen tutkimussuuntia	19
4	Integraation toteutusprosessi	21
4.1	Kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valinta.....	21
4.1.1	Mahdollisten ratkaisujen kartoitus	21
4.1.2	Valitun ratkaisun esittely ja käyttöönotto.....	27
4.2	Prototyypin toteutus	31
4.2.1	Olemassa olevan järjestelmän kuvaus	32
4.2.2	Toteutettavat käyttötapaukset.....	39
4.2.3	Integraation tuomat muutokset järjestelmään.....	41
4.2.4	Käyttötapausten käyttöliittymätoteutukset	48
4.3	Käyttäjätestaus	54
4.3.1	Menetelmä	54
4.3.2	Toteutus	55
4.3.3	Tulokset	58
4.3.4	Tulosten tarkastelu ja korjausehdotukset.....	59
5	Yhteenvedo.....	64
	Lähteet	69

Liitteet

- Liite 1: Quali-palvelinsovelluksen alkuperäiset malliluokat ja niiden väliset relaatiot
- Liite 2: Quali-tilutietokonesovelluksen sovellusarkkitehtuuri ennen integraatiota
- Liite 3: Quali-tilutietokonesovelluksen tietokantaluokat ennen integraatiota
- Liite 4: Quali-palvelinsovelluksen malliluokat ja niiden väliset relaatiot integraation jälkeen
- Liite 5: Quali-tilutietokonesovelluksen arkkitehtuurinkuvaus integraation jälkeen
- Liite 6: Quali-tilutietokonesovelluksen tietokantaluokat integraation jälkeen
- Liite 7: Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto, käyttötapauksen sanallinen kuvaus
- Liite 8: Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen, käyttötapauksen sanallinen kuvaus
- Liite 9: Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen, käyttötapauksen sanallinen kuvaus
- Liite 10: Käyttötapaukseen ”*Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen*” kohdistetun käyttäjätestauksen litteroitu nauhoite

1 Lyhenteet

AOA	Angle of Arrival
API	Application Programming Interface
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
IMU	Inertia Measurement Unit
JTS	Java Topology Suite
MVC	Model-View-Controller
OGC	Open Geospatial Consortium
ORM	Object
QPS	Qubulus Positioning Engine
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identifier
REST	Representational State Transfer
RSS	Received Signal Strength
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WLAN	Wireless Local Area Network

2 Johdanto

Mobiililaitteen sijaintiin perustuvien sovellusten määrä on lisääntynyt viimeisten vuosi-
en aikana huomattavasti. Lähes kaikkiin uuden sukupolven matkapuhelimiin ja taulutie-
tokoneisiin on integroitu GPS-vastaanotin. Paikkatiedosta on tulossa kiinteä osa erilaisia
mobiililaitteita (Kaasinen 2003). Mobiililaitteen paikannukseen käytetään tyypillisesti
GPS-paikannusta tai karkeamman tarkkuuden omaavaa GSM-verkkoperustaista paikan-
nusta (Laitinen et al. 2001). Myös suurin osa sijaintitietoisista mobiilisovelluksista hyö-
dyntää näitä menetelmiä mobiililaitteen sijainninmäärittämisessä.

Useista mahdollisista sovelluskohteista huolimatta, sisätilapaikannukseen perustuvia
mobiilisovelluksia ei ole vielä juurikaan saatavilla. Yhtenä syynä tähän voidaan nähdä
se, ettei sisätilapaikannukseen ole vielä olemassa GPS-paikannuksen kaltaista standar-
dimaista menetelmää. Erilaiset sisätilapaikannusratkaisut vaativat lähes poikkeuksetta
jonkinlaisia esivalmisteluja paikannettavassa tilassa (Want et al. 1992; Bahl & Pad-
manabhan 2000; Roos et al. 2002; Ruiz et al. 2011).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on toteuttaa olemassa olevan sähköisen kyselytutkimus-
sovelluksen ja kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisun integraatio. Tutkimuk-
sen lähtökohtana on tutkimuskäyttöön kehitetty Quali-kyselytutkimussovellus. Sovellus
koostuu kahdesta pääosasta: 1) Internet-selainkäyttöisestä kyselyiden luomiseen, julkai-
semiseen ja tulosten tarkasteluun tarkoitetusta sovelluksesta ja 2) Taulutietokoneen
kautta käytettävästä kyselyiden näyttämiseen ja vastaamisen tarkoitetusta mobiilisovel-
luksesta. Paikannusratkaisun integraation myötä taulutietokonesovelluksella on mahdol-
lista kerätä myös sijaintiin liitettyä tietoa.

Kyselytutkimuksen tulosten ja paikkatiedon yhdistämisellä pyritään antamaan kerätylle
tiedolle paikkaan sidottu konteksti. Tällöin saatuja vastauksia voidaan tulkita myös
paikkatietoanalyysien keinoin. Joissakin tapauksissa tutkimuksesta saatuja tuloksia voi-
daan selittää sijainnillisten tekijöiden avulla. Esimerkiksi Rantanen ja Kahila (2006)
keräsivät tutkimuksessaan sijaintiin liittyvää paikallistietoutta Internet-käyttöisen Soft-
GIS ohjelmiston avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli kerätä alueen asukkaiden koke-
muksia ympäristöstään tukemaan urbaania suunnittelua ja päätöksentekoprosessia.
(Rantanen & Kahila 2006). Vastaavankaltaisia kyselytutkimusta ja paikkatietoa yhdiste-
leviä sovelluksia on useita. Esimerkiksi kansalaisten osallistamista julkisenhallinnon

tekemää alueelliseen päätöksentekoon on pyritty edesauttamaan erilaisten www-pohjaisten palautejärjestelmien avulla (Kingston et al. 2000).

Tämän tutkimuksen motivaationa on kehittää Quali-kyselytutkimussovellusta siten, että sitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää tilojen käytettävyyteen liittyvässä tutkimuksessa. Kuten mitä tahansa paikkaan liitettyä tietoa, myös rakennuksen sisältä kerättyä käytettävyydestä voidaan tulkita paikkatietoanalyysien keinoin. Paikkatietoa voidaan hyödyntää myös erilaisissa rakennetun ympäristön käytettävyydestä tutkimukseen kehitetyissä menetelmissä. Tilojen käytettävyyttä on tutkittu noin kymmenen vuotta kansainvälisessä CIB W111 ryhmässä Usability of workplaces (Alexander 2008). Yhteistä teoreettista viitekehystä, menetelmiä ja tutkimusprosesseja on kehitetty ja sovellettu eri tilasegmentteihin (Lindahl et al. 2011). Haasteena on kuitenkin ollut reaaliaikaisen palaute- ja käyttäjäkokemustiedon kerääminen autenttisesti siinä ympäristössä, johon kokemus sijoittuu (Blakstad et al. 2010).

Käytettävyyden tutkimuksessa pyritään pääsemään mahdollisimman lähelle käyttäjän toimintalogiikkaa. Esimerkiksi käyttäjämatka-analyysin tarkoituksena on löytää yleistettävissä oleva tyypillinen reitti, jota käyttäjät ympäristössään kulkevat (Ainoa et al. 2010). Reitin varrella on monia hetkiä ja tilanteita, jolloin käytettävyyteen liittyvää tietoa voidaan kerätä. Paikannuksen ja sähköisen mobiililaitteen kautta täytettävän kyselysovelluksen avulla on mahdollista tallentaa käyttäjän kulkema reitti ja antaa paikkatietokonteksti reitin varrella tehdyille havainnoille.

Tilojen käytettävyydestä tutkimuksessa sisätilapaikannusta on hyödynnetty myös esimerkiksi erilaisten asiakasmatka-analyysien teossa. Menetelmässä pyritään havainnollistamaan asiakkaan osto- tai palveluprosessissa tyypillisesti kulkema reitti ja ymmärtämään mitä asiakas tekee tyypillisen palveluprosessin aikana. (Nenonen et al. 2008). Esimerkiksi Uotila ja Skogster (2007) käyttivät tutkimuksessaan WLAN-verkkoa ja RFID-tageja hyödyntävää kolmiointiperustaista sisätilapaikannusta asiakkaiden kulkureittien tallentamiseen kauppakeskuksessa. Tutkimuksessa kerättiin asiakkaiden ostosreittejä. Ostosreittejä analysoitiin paikkatieto-ohjelmistolla tehtyjen analyysien avulla. Analyysien avulla tutkittiin missä myymälän osissa asiakkaat liikkuvat ja missä osissa asiakkaat viettivät suurimman osan ajastaan ollessaan myymälässä. (Uotila & Skogster 2007). Tällaisella menetelmällä ei kuitenkaan saatu tietoa muusta kuin reitistä, jota käytetään.

Käytettävyyden kehittämiseksi tarvitaan myös tietoa käyttäjän kokemuksista reitin varrella.

Tutkimusta on rajattu siten, että tämän tutkimuksen aikana Qualikyselytutkimussovellukseen toteutetaan mahdollisuus paikkatiedon keräämisen kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisun ja GPS-paikannuksen avulla. Myöhemmin paikannusta voidaan hyödyntää tilojen käytettävyydestä varten räätälöityjen käyttötapauksien toteutukseen. Tutkimus keskittyy siis pääasiassa kyselytutkimussovelluksen ja paikannusratkaisun integraation tekniseen toteutukseen. Tutkimuksen konkreettiset tavoitteet asetettiin neljän tutkimuskysymyksen kautta: Millaisia sisätilapaikannusratkaisuja on olemassa? Mikä olemassa olevista sisätilapaikannusratkaisusta soveltuu parhaiten sähköisen mobiililaitteen kautta käytettävän kyselytutkimussovelluksen kontekstiin? Miten sisätilapaikannusratkaisun ja olemassa olevan kyselytutkimussovelluksen integraatio on toteutettavissa? Miten toteutettu prototyyppi toimii käytännössä? Tutkimuskysymyksiin liittyvät työvaiheet ovat vastaavasti: Sisätilapaikannusta koskevan teoreettisen pohjan määrittäminen kirjallisuuskatsauksen avulla, sisätilapaikannusteknologian ja siihen perustuvan kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valinta, sisätilapaikannusratkaisun ja kyselytutkimussovelluksen integraation toteutus prototyyppiasteelle sekä toteutetun prototyypin testaus.

Tämä tutkimus on jäsennetty seuraavasti. Ensimmäinen luku sisältää kirjallisuuskatsauksen. Kirjallisuuskatsauksessa on pyritty selvittämään sisätilapaikannukseen käytettävissä olevat teknologiat ja niiden toimintaperiaatteet. Seuraava luku esittelee tutkimuksen toteutusprosessin. Toteutusprosessissa on kuvattu kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valinta, prototyypin toteutus ja prototyypille toteutettu käyttäjätestaus tuloksineen. Viimeisenä on tutkimuksen yhteenveto.

3 Kirjallisuuskatsaus

Tässä luvussa on esitelty kirjallisuuskatsauksen avulla erilaisia sisätilapaikannusmenetelmiä. Alaluvussa 3.1 käydään lyhyesti läpi mobiililaitteiden perinteiset paikannusmenetelmät. Näitä ovat solu- ja GPS-paikannus. Alaluvussa 3.2 esitellään erilaisia sisätilapaikannusratkaisuja toimintaperiaatteineen. Siinä käydään läpi myös muutamia aikaisempia sisätilapaikannukseen liittyviä tutkimuksia. Alaluvussa 3.3 tarkastellaan tarkemmin tietokantakorrelaatioperustaista, myös sormenjälkipaikannukseksi kutsuttua, paikannusteknologiaa. Alaluvussa 3.4 on puolestaan pyritty tunnistamaan sisätilapaikannuksen tulevia tutkimussuuntauksia. Alaluvun pääpaino on sormenjälkipaikannukseen liittyvällä tutkimuksella.

3.1 Perinteiset mobiililaitteiden paikannusmenetelmät

Mobiililaitteiden paikantamiseksi on perinteisesti ollut käytössä kaksi pääasiallista paikannusmenetelmää. Mobiililaitte voidaan paikantaa solupaikannuksen tai laitteeseen integroidun GPS-vastaanottimen avulla. (Laitinen et al. 2001).

Solutunnistukseen perustuva solupaikannus on yksinkertaisin mobiililaitteiden paikannusmenetelmä. Menetelmässä tarvitsee tuntea ainoastaan GSM-tukiasemien sijaintikoordinaatit. Yksinkertaisimmillaan mobiililaitteen sijainti määritetään mobiililaitetta lähinnä olevan GSM-tukiaseman perusteella. Lähin GSM-tukiasema määritetään puolestaan mobiililaitteen havaitseman vahvimman signaalin perusteella. Menetelmän tarkkuus on riippuvainen GSM-tukiaseman solukoosta. (Laitinen et al. 2001).

Mobiililaitteen GPS-paikannus edellyttää, että mobiililaitteeseen on integroitu GPS-vastaanotin (Laitinen et al. 2001). GPS-paikannuksessa mobiililaitteen GPS-vastaanotin havaitsee paikannussatelliittien lähettämiä paikannussignaaleja. Paikannussignaaleihin on moduloitu paikannussatelliittien ratatiedot ja signaalin lähetysaika. Koska signaalin lähetysaika ja satelliitin sijainti signaalin lähetyshetkellä ovat tiedossa, pystyy GPS-vastaanotin periaatteessa laskemaan oman sijaintinsa havaitsemalla kolmen satelliitin paikannussignaalit. Käytännössä, vastaanottimen kellon epätarkkuuden ja muiden virhelähteiden eliminoimiseksi, tarvitaan kuitenkin vähintään neljän GPS-satelliitin signaalihavainnot. (Kaplan et al. 2006).

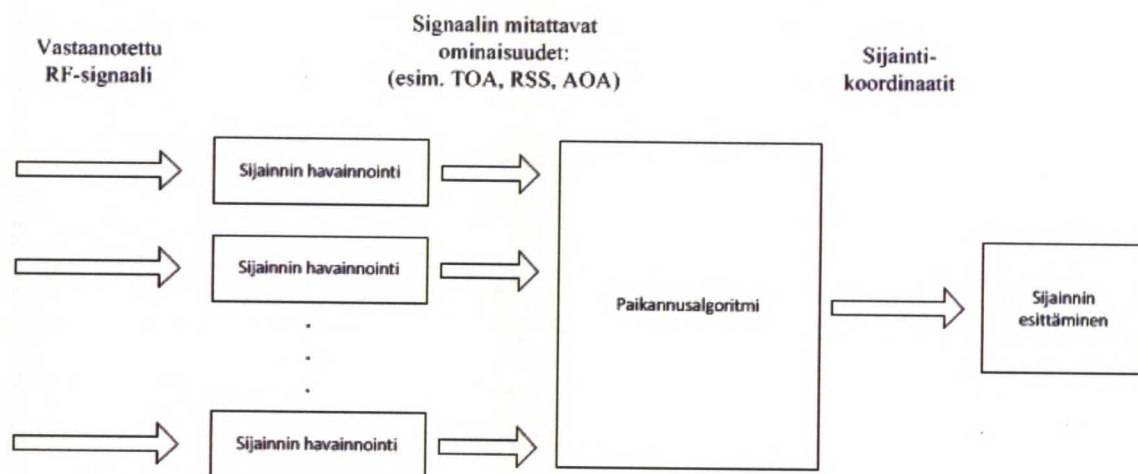
3.2 Yleiskatsaus sisätilapaikannusratkaisuihin

Mobiililaitteiden perinteiset paikannusmenetelmät ovat usein riittämättömiä sisätilapaikannuksen sovelluskohteisiin. Jotta GPS-paikannusta voidaan hyödyntää, tarvitaan suora ”näköyhteys” vähintään neljän GPS-satelliitin ja vastaanottimen välillä. Soluntunnistukseen perustuva paikannus ei puolestaan kykene tarjoamaan riittävää tarkkuutta useimpiin sisätilapaikannuksen sovelluskohteisiin. Tästä syystä sisätilapaikannukseen on kehitetty erilaisia lähestymistapoja.

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty sisätilapaikannuksen yleinen toimintamalli ja erilaisia sijainninlaskentamenetelmiä. Sijainninlaskentamenetelmällä tarkoitetaan tässä yhteydessä menetelmää, jolla paikanmäärittäminen tapahtuu. Tämän tutkimuksen yhteydessä käsitellyt menetelmiä ovat kolmiointi-, läheisyys- ja tietokantakorrelaatioperustaiset menetelmät sekä inertia-perustainen paikannus.

3.2.1 Yleinen toimintamalli

Jotta riittävän tarkka paikannus olisi mahdollista myös sisätiloissa, on kehitetty useita erilaisia sisätilapaikannusratkaisuja. Yleisellä tasolla eri sisätilapaikannusratkaisut pohjautuvat samankaltaiseen toimintamalliin. Tätä toimintamallia on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1: Sisätilapaikannuksen yleinen toimintamalli. Muokattu lähteestä (Pahlavan et al. 2002).

Kuvassa 1 havainnollistetun sisätilapaikannuksen toimintamallin pääkomponentteja ovat paikannukseen käytettävää signaalia havainnoivat laitteet, signaalin havaittujen ominaisuuksien perusteella sijainnin laskeva paikannusalgorithmi sekä sijainnin esittämiseen käytettävä näyttölaite. Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, sisätilapaikannuksen työ-

vaiheet etenevät seuraavasti: 1) Sijainnin havainnointilaitteet vastaanottavat paikannussignaalin 2) Paikannussignaalin havaitut ominaisuudet välitetään paikannusalgoritmillemme. 3) Paikannusalgoritmi suorittaa sijainnin määrittämisen. 4) Sijaintitieto välitetään edelleen sijainnin esittävälle laitteelle. (Pahlavan et al. 2002).

Paikannusratkaisusta riippuen kuvassa 1 esitetyt pääkomponentit voivat sijaita joko erillisissä fyysisissä laitteissa tai yhden fyysisen laitteen sisällä. Joissakin ratkaisuissa paikannussignaalin havainnointi voi puolestaan tapahtua paikannettavassa laitteessa. Toisaalta, joissakin paikannusratkaisuihin paikannettava kohde lähettää signaalia ja se havaitaan erillisessä signaalin havainnointilaitteessa. Vastaavasti, myös paikannusalgoritmin suoritus ja sijainnin esittäminen voivat tapahtua paikannettavassa laitteessa itsessään. Vaihtoehtona on myös, että paikannusalgoritmin suorittaminen ja sijainnin esittäminen tapahtuvat yhdessä keskitetyssä laitteessa, johon kaikki paikannettavat laitteet ovat yhteydessä. (Liu et al. 2007).

3.2.2 Sijainninlaskentamenetelmät

Paikannuksessa käytetyt sijainninlaskentamenetelmät jaetaan usein kolmeen pääryhmään: 1) Kolmiointimenetelmiin (Triangulation), 2) läheisyysmenetelmiin (Proximity) ja 3) tietokantakorrelaatioon (Database Correlation) perustuviin menetelmiin. (Hightower & Borriello 2001; Gu & Lo 2009). Näiden lisäksi voidaan tunnistaa muihin laskentamenetelmiin perustuvat paikannusmenetelmät. Tällaisia ovat esimerkiksi inertiaperustaiset menetelmät sekä hahmontunnistusta hyödyntävät ja kameroiden avulla toimivat menetelmät (Tesoriero et al. 2010). Hahmontunnistukseen perustuvia paikannusmenetelmiä ei kuitenkaan tarkastella tarkemmin tämän tutkimuksen yhteydessä.

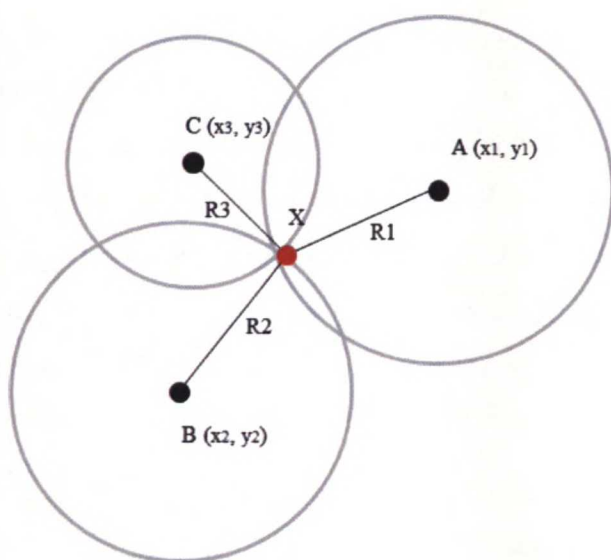
Edellä mainituista sijainninlaskentamenetelmistä kolmiointi-, läheisyys- ja tietokantakorrelaatiomenetelmissä sijainnin laskenta perustuu jonkinlaisen paikannussignaalin havaitsemiseen. Käytetty paikannussignaali riippuu pitkälti sovelluskohteesta, paikannuksen vaatimasta tarkkuudesta ja käytettävissä olevista resursseista. Sisätilapaikannuksessa käytettyjä paikannussignaaleja ovat esimerkiksi infrapunasäteet, ultraääniäallot, elektromagneettiset aallot, radiotaajuussignaali (Radio Frequency, RF) ja erilaiset ääniäallot. (Liu et al. 2007).

Käytetystä laskentamenetelmästä riippuen voidaan paikannussignaalista havaita eri ominaisuuksia. Paikannuksessa havaittuja signaalin ominaisuuksia ovat esimerkiksi

vastaanotetun paikannussignaalin tulokulma (Angle of Arrival, AOA), signaalin vastaanottoaika (Time of Arrival, TOA), signaalin lähettämisen ja vastaanottamisen välinen aikaero (Time Difference of Arrival, TDOA) tai vastaanotetun paikannussignaalin voimakkuus (Received Signal Strength, RSS). Kolmiointimenetelmät voivat perustua periaatteessa minkä tahansa edellä mainitun signaalin ominaisuuden havaitsemiseen. Läheisyys- ja tietokantakorrelaatiomenetelmät perustuvat tyypillisesti vastaanotetun paikannussignaalin RSS-arvon havaitsemiseen. (Pahlavan et al. 2002).

Kolmiointiperustaiset menetelmät

Kolmiointimenetelmien perusideana on laskea paikannettavan laitteen sijainti kolmion geometristen ominaisuuksien perusteella. Kolmiointiin perustuvissa menetelmissä paikannettavan kohteen sijainti lasketaan joko signaalinlähteen ja vastaanottimen välisen etäisyyden tai signaalin tulokulman perusteella. (Liu et al. 2007). Kolmiointiin perustuvan paikannuksen peruseriaatetta on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2: Kolmiointimenetelmän peruseriaate. Muokattu lähteestä (Gu & Lo 2009).

Kuvassa 2 paikannettava laite on havainnollistettu punaisella pisteellä X ja sijaintikoordinaateiltaan tunnetut paikannussignaalinlähteet pisteillä A, B ja C. R1, R2 ja R3 kuvaavat paikannettavan laitteen ja signaalinlähteiden välisiä vektoreita.

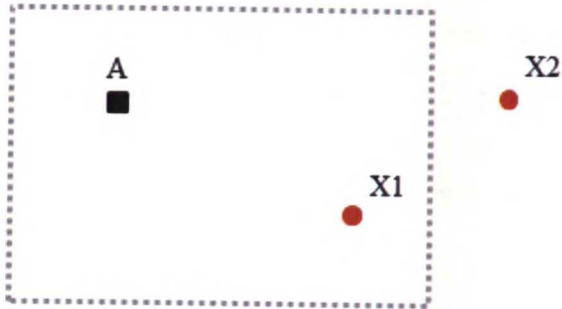
Vektoreiden R1, R2 ja R3 pituudet voidaan laskea esimerkiksi havaitsemalla paikannussignaalin TOA-, TDOA- tai RSS-arvot. Havaittaessa paikannussignaalin TOA- ja TDOA-arvoja, perustuu pituuden laskenta tietoon paikannussignaalin kulkunopeudesta.

Jos vektoreiden pituuden laskenta perustuu paikannussignaalin RSS-arvon havaitsemiseen, käytetään pituuden laskennan apuna tietoa käytetyn paikannussignaalin voimakkuuden heikkenemisestä matkan suhteen. Kun vektoreiden R_1 , R_2 ja R_3 pituudet ovat selvillä, voidaan paikannussignaalinlähteiden ympärille muodostaa ympyrän kehät, joiden säde määräytyy vektorin pituuden mukaan. Tällöin paikannetavan laitteen sijainti voidaan laskea kehien leikkauspisteen avulla. Sisätiloissa kolmiointimenetelmän käyttö on usein haastavaa. TOA ja TDOA menetelmät vaativat suoran näköyhteyden signaalinlähteen ja vastaanottimen välillä. RSS-menetelmässä vaikeuksia aiheuttaa se, että paikannussignaalin voimakkuuden heikkeneminen ei ole seinistä ja muista esteistä johtuen lineaarista ja se voi vaihdella eri paikoissa. (Liu et al. 2007).

Esimerkiksi GPS-paikannuksen laskentaperiaate pohjautuu kolmiointimenetelmään ja paikannussignaalin TOA-arvon havaitsemiseen. (Kaplan et al. 2006). Sisätilapaikannusratkaisuista esimerkiksi erilaiset pseudoliitteihin pohjautuvat ratkaisut hyödyntävät kolmiointimenetelmää sijainnin määrittämiseen (Wan & Zhan 2011). Eräs esimerkki pseudoliitteihin perustuvasta sisä- ja ulkotilapaikannusratkaisusta on tutkimuksessa Barnes et al. (2003) esitelty Locata järjestelmä. Locata nimisen yrityksen kehittämä paikannusjärjestelmä hyödyntää LocataLite pseudoliiteistä muodostettua verkostoa. LocataLite-pseudoliitit lähettävät samanlaista signaalia kuin GPS-satelliitit ja niiden vastaanottamiseen voidaan käyttää tavallista GPS-vastaanotinta. Järjestelmä hyödyntää LocataLite-pseudoliittejä mobiililaitteiden paikannuksen tukena sisätiloissa ja muissa GPS:n katvealueissa. (Barnes et al. 2003).

Läheisyysperustaiset menetelmät

Läheisyysmenetelmien peruseriaatteena on määrittää paikannettavan laitteen sijaintipiste tai -alue vastaanotetun paikannussignaalin vahvuutta (RSS) hyödyntäen. Läheisyysmenetelmän toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3: Läheisyysmenetelmään perustuvan paikannuksen peruseriaate. Muokattu lähteestä (Gu & Lo 2009).

Kuvassa 3 sijaintikoordinaateiltaan tunnettu referenssipiste on merkitty neliöllä A. Paikannettavat laitteet on puolestaan merkitty pisteillä X1 ja X2. Katkoviivalla merkitty alue kuvaa referenssipisteen läheisyysaluetta. Paikannettavien laitteiden X1 ja X2 sijainti määritetään havaitsemalla onko kyseinen laite referenssipisteen määrittämän läheisyysalueen sisällä. (Gu & Lo 2009). Yksinkertaisimmillaan sijainnin määrittäminen voidaan tehdä 1) määrittämällä paikannuslaitteeseen saapuvista signaaleista vahvin ja 2) määrittämällä paikannuslaitteen sijainniksi vahvinta signaalia lähettävä referenssipiste. (Liu et al. 2007).

Tutkimuksessa Want et al. (1992) esitelty Active Badge on eräs esimerkki läheisyysperustaisista sisätilapaikannusratkaisuista. Active Badge järjestelmä on yksi ensimmäisistä sisätilapaikannusratkaisuista. Active Badge järjestelmä kehitettiin toimistoympäristöihin työntekijöiden sijaintiin perustuvien palveluiden ja toiminnallisuuksien tueksi. Järjestelmän perusajatus on varustaa työntekijät Active Badge lähettimillä. Active Badge lähettimet lähettävät jokaiselle lähettimelle yksilöllistä infrapunasignaalia, joka havaitaan toimistoon asennetuilla sensoreilla. Sensoreiden sijainnit tunnetaan ja työntekijän sijainti määräytyy sen sensorin perusteella, joka havaitsee Active Badgen lähettämän signaalin. Sensoriverkosto välittää työntekijöiden sijaintitiedot edelleen keskitetylle palvelimelle. (Want et al. 1992).

Toinen esimerkki läheisyysperustaisista sisätilapaikannusmenetelmistä on tutkimuksessa Tesoriero et al. (2010) esitelty RFID (Radio Frequency Identifier, RFID) teknologiaan perustuva itsenäisten robottien sijainnin seuraamiseen kehitetty paikannusmenetelmä. Menetelmässä paikannettava alue, jolla robotit liikkuvat, jaetaan ruudukoksi. Jokaista ruutua vastaa yksilöllinen ID ja siihen liittyy yksi RFID-tagi. Paikannettavana laitteena toimii passiivinen RFID-lukija. Paikannettava laite lukee ruudukkoon liitettyjä RFID-tageja ja lähettää havaitsemansa yksilöllisen tunnisteen paikannuspalvelimelle. Paikannuspalvelimelle on tallennettu tieto kuhinkin tunnisteseen liittyvästä ruudusta ja sen fyysisestä sijainnista. Paikannuspalvelin välittää paikannettavan laitteen sijaintitiedon seurantasovellukselle. (Tesoriero et al. 2010).

Tietokantakorrelaatioon perustuvat menetelmät

Tietokantakorrelaatioon perustuvien paikannusmenetelmien perusideana on muodostaa paikannustietokanta, jota hyödynnetään mobiililaitteen sijainnin määrittämisessä. Paikannustietokanta muodostetaan keräämällä paikannettavalta alueelta RF-signaalinäytteitä. Yhdestä paikannustietokantaan kerätystä signaalinäytteestä käytetään nimitystä sormenjälki. Yksittäinen sormenjälki koostuu näytteen keräyspaikan sijaintitiedoista sekä keräyspaikassa havaituista RF-signaalien voimakkuustiedoista. Tietokantakorrelaatioon perustuvissa menetelmissä mobiililaitteen varsinainen paikannus tapahtuu havaitsemalla RF-signaalin voimakkuustiedot reaaliajassa. Reaaliajassa havaittuja voimakkuustietoja verrataan paikannustietokantaan tallennettujen sormenjälkien voimakkuustietoihin. Mobiililaitteen sijainniksi määrytyy havaittuja voimakkuustietoja eniten muistuttavan sormenjäljen havainnointipaikka. (Laitinen et al. 2001). Tietokantakorrelaatio menetelmässä käytettyjä RF-signaalien vertailumenetelmiä on esitelty tarkemmin seuraavassa alaluvussa.

Tietokantakorrelaatioon perustuvaa paikannusmenetelmää voidaan käyttää missä tahansa soluverkostossa. Esimerkiksi GSM-, UMTS-, 3G- tai WLAN-verkon lähettämien RF-signaalien voimakkuustietoja voidaan hyödyntää tietokantakorrelaatioon perustuvassa paikannuksessa. (Laitinen et al. 2001). Tietokantakorrelaatioon perustuvaa paikannusmenetelmän mahdollistaa kaksi havaintoa: 1) Havaitun RF-signaalin voimakkuus riippuu merkittävästi sitä havaitsevan laitteen spatiaalisesta sijainnista. 2) RF-signaalin voimakkuus ei vaihtelee merkittävästi ajan suhteen, joten samat signaalin voimakkuudet voidaan havaita samassa paikassa eri ajankohtana. (Otsason et al. 2005).

Useissa tutkimuksissa tietokantakorrelaatioon perustuvista paikannusmenetelmistä käytetään nimitystä sormenjälkipaikannus. Sisätilapaikannuksessa hyödynnetään tyypillisesti paikannettavan kohteen olemassa olevaa WLAN-verkkoa. Paikannustietokantaan tallennetaan tyypillisesti WLAN-verkkoon kuuluvien tukiasemien lähettämien RF-signaalien voimakkuustiedot. (Bahl & Padmanabhan 2000; Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004b; Roos et al. 2002; Mungual et al. 2010; Kim et al. 2012).

Bahlin ja Padmanabhanin (2000) tekemässä tutkimuksessa esitelty RADAR-järjestelmä on yksi ensimmäisistä WLAN-verkon RF-signaalia hyödyntävistä sisätiloissa toimivista sormenjälkipaikannusmenetelmistä. Yksi RADAR-järjestelmän kehittämisen motivaatioista oli pienentää työmäärää, jota tarvittiin tutkimuksen tekoherkellä olemassa olleiden sisätilapaikannusratkaisujen paikannusinfrastruktuurin rakentamiseen. (Bahl & Padmanabhan 2000). RADAR järjestelmässä yksi sormenjälki muodostui WLAN-tukiasemien signaalinvoimakkuustiedoista ja sen havainnointipaikasta (Bahl et al. 2000). Tutkimusolosuhteissa järjestelmällä päästiin 2 – 3 metrin mediaanitarkkuuteen (Bahl & Padmanabhan 2000).

Inertiaperustaiset menetelmät

Inertiaperustaisten paikannusmenetelmien perusidea on määrittää paikannettavan kohteen sijainti seuraamalla kohteen liikkumista. Menetelmässä paikannus alkaa aina tunnetusta pisteestä. Kun paikannettava kohde liikkuu, pyritään havaitsemaan liikkeen suunta ja etäisyys. Koska aloitus piste on tunnettu, pystytään paikannettavan kohteen sijainti laskemaan liikkeen jälkeen. Inertiaperustaisissa paikannus- ja navigaationmenetelmissä paikannettavan kohteen liikkumisen seuranta tapahtuu kiihtyvyysanturien ja gyroskooppien avulla. Inertiamenetelmissä inertiamittausyksiköt (Inertia measurement units, IMUs) mittaavat paikannettavan kohteen liikkeitä ja orientaatiota. Sijainti määritetään havaittujen liikkeiden perusteella suhteessa tunnettuun aloituspisteeseen. (Woodman 2007).

Koska inertiaperustainen paikannus vaatii toimiakseen tunnetun aloituspisteen, sitä ei voida käyttää paikannukseen ilman ulkopuolista paikannusmenetelmää. Inertiapaikannuksen ongelma on myös, että paikannuksen virhe kumuloituu ajan kuluessa. Tästä syystä menetelmä vaatii, että aloituspiste voidaan määrittää määräajoin uudelleen. Käytettäessä inertiapaikannusta mobiililaitteen sijainnin määrittämiseen, ongelmana on

myös käyttäjän todellisten liikkeiden tunnistaminen laitteen sensoreiden avulla. Jotta käyttäjän todellisia liikkeitä pystytään seuraamaan, on laitteen sijattava käyttäjän kehon sellaisessa osassa, jossa kiihtyvyys ja rotaatio muuttuvat vain käyttäjän liikkuesssa. IMU:n tulisi sijaita esimerkiksi käyttäjän lantiolla. (Evennou & Marx 2005).

Mobiililaitteiden paikannuksessa inertiamenetelmää on sovellettu esimerkiksi täydentämään GPS-paikannuksen kattavuutta. Tällöin GPS-avulla saadaan tunnettu aloitus piste. Kun GPS-signaali katoaa näkyvistä, käytetään mobiililaitteeseen integroitua IMU:a sijainnin seurannassa. (Evennou & Marx 2005). Sisätilapaikannuksessa mobiililaitteen inertiasensoreita on hyödynnetty myös esimerkiksi yhdessä RFID-paikannuksen (Ruiz et al. 2011) ja WLAN-perustaisen sormenjälkipaikannuksen (Evennou & Marx 2005) kanssa.

3.3 Sormenjälkipaikannus

Sormenjälkipaikannuksen käyttö sisätilapaikannusratkaisuna on herättänyt viimeaikoina huomattavaa kiinnostusta. Sisätiloissa tapahtuvaan sormenjälkipaikannukseen liittyen on julkaistu useita tutkimuksia (Bahl & Padmanabhan 2000; Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004b; Roos et al. 2002; Mungual et al. 2010; Kim et al. 2012). Myös ensimmäiset sormenjälkipaikannukseen perustuvat kaupalliset sisätilapaikannusratkaisut ovat tulleet markkinoille (esimerkiksi (Ekahau; Walkbase; Qubulus)).

Yksi merkittävimmistä syistä sormenjälkipaikannuksen suosiolle sisätilapaikannusratkaisuna, ovat sen alhaiset käyttöönottokustannukset. Muihin teknologioihin perustuvat paikannusratkaisut vaativat useimmiten erillisen paikannusinfrastruktuurin rakentamista. Sormenjälkipaikannuksessa pystytään sen sijaan hyödyntämään esimerkiksi paikannettavan tilan jo olemassa olevaan WLAN-verkkoa tai matkapuhelinverkoston tukiasemia.

Seuraavassa alaluvussa käsitellään sormenjälkipaikannuksen teoreettista taustaa. Pääpaino on paikannustietokannan muodostamisessa ja paikanmääritykseen käytetyissä algoritmeissa. Alaluvussa 3.3.2 käydään läpi muutamia sormenjälkipaikannuksen tarkkuutta ja mahdollisia virhelähteitä käsitteleviä tutkimuksia.

3.3.1 Sormenjälkipaikannuksen teoreettinen tausta

Sormenjälkipaikannuksen perusidea on kerätä paikannettavasta tilasta sormenjälkiä. Sormenjälki muodostuu RF-signaalin voimakkuustiedosta ja paikasta, jossa RF-signaalin voimakkuustiedot on havaittu. Paikannettavan laitteen sijainti määritetään vertaamalla paikannettavan laitteen reaaliajassa havaitsemia RF-signaalin voimakkuuksia tallennettuihin sormenjälkiin. Paikannettavan laitteen sijainti määräytyy havaittuun RF-signaaliin parhaiten täsmäävän sormenjäljen sijainnin perusteella. (Liu et al. 2007).

Sormenjälkipaikannuksen käyttö koostuu kahdesta vaiheesta. Ensimmäinen, niin sanottu valmisteluvaihe, pitää sisällään sormenjälkien keräämisen ja tallentamisen tietokantaan. Sormenjälkipaikannuksen toisessa vaiheessa paikannettava laite havaitsee RF-signaalia reaaliajassa ja lähettää havaitut signaalien voimakkuustiedot paikannuspalvelimelle analysoitavaksi. Palvelin palauttaa paikannettavalle laitteelle takasin arvion laitteen sen hetkisestä sijainnista. (Dawes & Chin 2010).

Käsiteltäessä sormenjälkipaikannuksen teoriaa puhutaan usein sormenjälkivektoreista. Yhden sormenjälkivektorin komponentit muodostuvat eri signaalinlähteistä havaituista RF-signaalin RSS arvoista. Esimerkiksi vektorilla $R = [p_1, p_2, \dots, p_n]$, voidaan kuvata yhtä paikannustietokantaan tallennettua sormenjälkeä. Tällöin vektorin R komponentit p_i muodostuvat tietyssä sijainnissa havaituista RF-signaalin RSS arvoista. Vektorin R dimensio määräytyy havaittujen RF-signaalin lähteiden lukumäärän mukaan. (Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004a).

Radiokartan muodostaminen

Sormenjälkipaikannuksen käyttöönoton ensimmäistä vaihetta kutsutaan usein radiokartan muodostamiseksi. Siinä paikannettava tila käydään läpi jonkin systemaattisen radiokartan muodostamissuunnitelman mukaan. Tilan eri kohteista nauhoitetut sormenjälkivektorit tallennetaan paikannustietokantaan.

Radiokartan muodostamissuunnitelmassa määritetään mistä ja kuinka tiheästi paikannettavasta tilasta tallennetaan sormenjälkivektoreita. Sormenjälkivektoreiden tallentaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi jakamalla paikannettava kohde tasaisiin ruutuihin ja keräämällä sormenjäljet kunkin ruudun sisässä. Ruutujen koko määrittää paikannuksen resoluution. Suurella ruudukon koolla resoluutio on suuri, mutta todennäköisyys

oikean sormenjäljen löytämiseen reaaliaikaisessa paikannusvaiheessa kasvaa. Toisaalta pienentämällä ruudukon solukokoa, voidaan kasvattaa paikannuksen resoluutiota, mutta samalla heikennetään todennäköisyyttä löytää oikea sormenjälkivektori paikannusvaiheessa. (Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004a).

Tyypillisesti RF-signaalista muodostettava sormenjälkivektori perustuu paikannussignaalin RSS arvoon, koska tämä korreloi voimakkaammin sijainnin muutoksiin kuin muut RF-signaalin mitattavat ominaisuudet (Bahl & Padmanabhan 2000). Reaaliaikaisessa paikannuksessa käytettävästä algoritmista riippuen sormenjälkitietokantaan tallennetaan joko havaittujen signaalivektorien keskiarvo tai havaintoja kuvaava jakauma (Dawes & Chin 2010). Molemmissa tapauksissa vaaditaan, että RF-signaalin RSS arvojen havainnointi toistetaan useita kertoja samassa sijainnissa.

Radiokartan muodostamissuunnitelma on erilainen riippuen siitä käytetäänkö paikannuksessa koordinaattipohjaista vai symbolista sijaintitietoa. Jos paikannusjärjestelmän tavoitteena on tarjota paikannettavan kohteen sijainti koordinaattitietona, pyritään paikannettavasta kohteesta keräämään sormenjälkinäytteitä mahdollisimman tasaisin välein. Symbolisen sijaintitiedon kohdalla määritetään ensin paikannettavasta kohteesta tilat, joista sormenjälkiä kerätään. Tämän jälkeen jokaiselle tilalle annetaan yksilöivä symbolinen nimi. Kerätyt sormenjälkivektorit liitetään geometrisen ruudun tai pisteen sijasta tilan symboliseen nimeen. Kaupallisista sisätilapaikannusratkaisuista esimerkiksi Walkbase perustuu symbolisen sijaintitiedon käyttöön (Walkbase).

Reaaliaikainen paikannus

Reaaliaikaisessa paikannusvaiheessa paikannettava laite lähettää havaitsemansa RF-signaalin voimakkuusarvot paikannuspalvelimelle. Paikannuspalvelimella tavoitteena on löytää havaittua signaalivektoria parhaiten vastaava sormenjälkivektori. Löydettyyn sormenjälkivektoriin liittyvä havainnointipaikka määrittää paikannettavan laitteen sijainnin.

Reaaliaikaisessa paikannusvaiheessa tehtävä laskenta keskittyy pääasiassa havaitun signaalivektorin ja tallennettujen sormenjälkivektoreiden samankaltaisuuden määrittämiseen. Tähän tarkoitukseen eri tutkimuksissa on esitetty useita erilaisia paikannusalgoritmeja. Sormenjälkipaikannuksessa tyypillisesti käytetyt paikannusalgoritmit voidaan jakaa kahteen laajaan kategoriaan; deterministisiin ja jakaumapohjaisiin algoritmeihin

(Dawes & Chin 2010). Käytettäessä deterministisiä algoritmeja paikannustietokantaa tallennettava sormenjälki on eri havainnoista laskettu keskiarvovektori. Jakaumapohjaisissa menetelmissä sormenjälki koostuu eri havaintojen muodostamasta todennäköisyysjakaumasta.

Determinististen algoritmien perusideana on määrittää havaittua signaalivektoria parhaiten vastaava sormenjälkivektori lyhimmän etäisyyden perusteella. Lyhimmän vektorin etäisyyden laskenta perustuu siihen, että sormenjälkivektoreiden ja havaitun signaalivektorin ajatellaan sijaitsevan n -dimensioisessa signaaliavaruudessa. Tällöin on mahdollista laskea etäisyys kahden signaaliavaruuden vektorin R_1 ja R_2 välillä. Jos etäisyys vektoreiden R_1 ja R_2 välillä on pieni signaaliavaruudessa, omaavat vektorit R_1 ja R_2 toistensakaltaisia RF-signaalin RSS arvoja ja voidaan olettaa, että sormenjälkivektorin tallennuspaikka on lähellä signaalivektorin havainnointipaikkaa. (Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004a).

Yksinkertaisin sormenjälkipaikannuksessa käytetty deterministinen algoritmi on niin sanottu lähimmän naapurin menetelmä (Nearest Neighbour, NN). NN-menetelmässä parhaiten havaittua signaalia vastaava sormenjälki määräytyy havaintoa signaaliavaruudessa lähinnä olevan sormenjäljen perusteella. Yksinkertaisessa toteutuksessa NN-menetelmä käy läpi kaikki tallennetut sormenjälkivektorit ja laskee etäisyyden havaitun signaalivektorin ja sormenjälkivektorin avulla. Sijainniksi määräytyy siihen sormenjälkeen liittyvä paikka, johon havaitusta signaalivektorista on lyhin etäisyys. Tyypillinen NN-menetelmässä käytetty etäisyyden mittari on Euklidinen etäisyys. Kahden vektorin välinen Euklidinen etäisyys voidaan laskea kaavalla (1).

$$D = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_{1i} - x_{2i})^2}, \quad (1)$$

jossa D on vektoreiden x_1 ja x_2 välinen Euklidinen etäisyys, x_{1i} on vektorin x_1 i :s komponentti, x_{2i} on vektorin x_2 i :s komponentti ja n on vektoreiden x_1 ja x_2 dimensio. (Roos et al. 2002; Badawy & Hasan 2007).

Toinen sormenjälkipaikannuksessa yleisesti käytetty deterministinen algoritmi on niin sanottu k -lähintä naapuria (k Nearest Neighbors, kNN). kNN -menetelmä muistuttaa pitkälti NN-menetelmää. Menetelmän erona NN-menetelmään nähden on se, että sijainnin määrittämisessä käytetään, yhden havaittua signaalia etäisyydeltään lähinnä olevan

sormenjälkivektorin sijasta, k:ta lähintä sormenjälkivektoria. Menetelmän idea sormenjälkipaikannuksen tapauksessa perustuu havaintoon, että usein havaitulla signaalivektorilla on tyypillisesti useita naapureita, jotka ovat yhtä lähellä toisiaan. KNN-menetelmässä sijainti määräytyy käymällä läpi kaikki sormenjälkivektorit ja valitsemalla näistä k kappaletta havaittua signaalia lähimpänä olevaa vektoria. Tämän jälkeen sijainti lasketaan valittuihin sormenjälkivektoreihin liittyvien sijaintitietojen keskiarvona. (Bahl & Padmanabhan 2000; Yim et al. 2008).

Jakaumapohjaisten sormenjälkipaikannusalgoritmien perusideana on, että yksittäinen paikannustietokantaan tallennettu sormenjälki havainto ei koostu determinististen algoritmien tapaan keskiarvovektorista vaan havaintojen pohjalta muodostetusta mallista. Jakaumapohjaisiksi paikannusalgoritmeiksi voidaan laskea esimerkiksi neuroverkkoihin pohjautuvat algoritmit ja todennäköisyyslaskentaan pohjautuvat algoritmit.

Todennäköisyyspohjaiset algoritmit perustuvat tyypillisesti Bayesin ehdollisen todennäköisyysäännön pohjalta muodostettuun todennäköisyysjakaumaan. Todennäköisyyspohjaisissa paikannusalgoritmeissa perusidea on määrittää yksittäinen sormenjälki ehdollisena todennäköisyytenä $P(O|S)$, jossa O kuvaa havaittua signaalivektoria ja S tunnettua sijaintia, josta sormenjälkitietokannan yksi havainto on nauhoitettu. (Dawes & Chin 2010). Tavoitteena on siis löytää sijainti S siten, että ehdollinen todennäköisyys $P(S|O)$ maksimoituu. Bayesin teoriaan pohjautuvan todennäköisyysjakauma voidaan laskea kaavalla 2.

$$P(S|O) = \frac{P(O|S)P(S)}{\sum_{i=1}^n P(O|S_i)P(S_i)} , \quad (2)$$

missä $P(S)$ on todennäköisyys. Termi $P(O|S)$ on yhden sormenjäljen todennäköisyysfunktio, jonka arvo kertoo todennäköisyyden sille, että signaalivektorin O havaintopaikka on S. Todennäköisyysfunktiota $P(O|S)$ voidaan estimoida esimerkiksi kernel- tai histogrammimenetelmällä. (Roos et al. 2002).

Muita jakaumapohjaisia algoritmeja ovat esimerkiksi tutkimuksessa Astrain et al. (2006) käytetty sumeaa logiikkaan (Fuzzy Logic) perustuva algoritmi sekä tutkimuksessa Mengual et al. (2010) kehitetty itseorganisoiuvia kartoja (Self- Organizing Maps) ja ryhmittymistä (Clustering) hyödyntävä algoritmi.

3.3.2 Sormenjälkipaikannuksen tarkkuudesta ja virhelähteistä

Paikannustarkkuus on yksi paikannusmenetelmän tärkeimmistä ominaisuuksista. Useissa tutkimuksissa on tutkittu sormenjälkipaikannuksen paikannustarkkuutta sisätiloissa. Vaikka eri tutkimuksissa esitetyt tarkkuuslukemat eivät ole vertailukelpoisia keskenään, voidaan niiden avulla saada karkea arvio tarkkuustasosta, jolle sormenjälkipaikannuksella on mahdollista päästä.

Tutkimuksessa Elnahrawy et al. (2004) tutkittiin erilaisia 802.11 WLAN-teknologiaan perustuvan sormenjälkipaikannuksen reunaehtoja. Eräs tutkimuksen tulos oli, että suotuisalla WLAN-tukiasemien sijoittelulla, hyvällä paikannusalgoritmillä ja riittävällä määrällä sormenjälkinäytteidenottokertoja sormenjälkipaikannuksella on mahdollista saavuttaa parhaimmillaan noin 5 metrin tarkkuustaso 50 %:lla paikannuksista ja noin 10 metrin tarkkuustaso 97 %:lla paikannuksista. Vastaavankaltaisia tarkkuuslukumia on raportoitu myös muissa sormenjälkipaikannuksen tarkkuutta käsittelevissä tai sivuavissa tutkimuksissa. Esimerkiksi tutkimuksessa Roos et al. (2002) sormenjälkipaikannuksen lähtökohtana käytettiin WLAN verkkoa ja todennäköisyyspohjaista paikannusalgoritmia. Tutkimuksen tuloksissa raportoitiin sisätilapaikannukselle noin 5 metrin tarkkuusarvoja 90 %:n tarkkuustasolla. (Roos et al. 2002).

Eri tutkimusten tarkkuuslukumia tarkasteltaessa on syytä kiinnittää huomiota sormenjälkipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Esimerkiksi WLAN tukiasemien sijoitteluun ei voida vaikuttaa kaikissa käytännön sovelluskohteissa. Myös tasaisen paikannusverkoston muodostaminen voi olla haastavaa tietyissä käytännön sovelluskohteissa.

Tutkimuksessa Kaemarungsi & Krishnamurthy (2004a) havaittiin, että sormenjälkipaikannuksen tarkkuuden kannalta on olennaista, että yhden sormenjälkivektorin eri näytteiden standardipoikkeama on mahdollisimman pieni. Standardipoikkeamaan vaikuttavat esimerkiksi paikannettavan rakennuksen arkkitehtuuri, siinä käytetyt rakennusmateriaalit, sormenjälkinäytteiden keräämiseen käytetty verkko ja WLAN-tukiasemien sijoittelu. (Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004a). Myös tutkimuksessa Baala & Caminda (2006) havaittiin, että WLAN-tukiasemien määrällä, sijainnilla ja paikannettavan rakennuksen arkkitehtuurilla on huomattava merkitys sormenjälkipaikannuksen tarkkuuteen. Vastaavasti myös tutkimuksessa Deasy & Scanlon (2004) todettiin, että

WLAN-verkon tukiasemien epäsuotuisa sijoittelu saattaa heikentää merkittävästi sormenjälkipaikannuksen tarkkuutta.

Paikannettavan kohteen ominaisuuksien lisäksi toinen sormenjälkipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat sormenjälkinäytteiden keräämiseen liittyvät tekijät. Esimerkiksi tutkimuksessa Kaemarungsi & Krishnamurthy (2004b) havaittiin, että nauhoitusvaiheessa nauhoitusta tekevän henkilön läsnäololla ja orientaatiolla on merkittävä vaikutus nauhoitettuun RF-signaalin voimakkuusarvoon.

3.4 Sisätilapaikannuksen tutkimussuuntia

Sormenjälkipaikannuksen yksi merkittävimmistä sen suosioon vaikuttaneista eduista on sen taloudellisuus. Sormenjälkipaikannuksessa on mahdollista hyödyntää olemassa olevaa WLAN-infrastruktuuria ja muita RF-signaalin lähteitä. Sen käyttöönottamiseksi ei tarvita erillisiä laitehankintoja ja paikannusinfrastruktuurin pystytystä. Sormenjälkipaikannuksen käyttöönotossa suurin työmäärä muodostuu sormenjälkitietokannan muodostamisesta. Yhtenä sisätilapaikannuksen tulevaisuuden suuntauksena voidaankin nähdä automaattinen sormenjälkitietokannan muodostaminen ja ylläpito sekä eri sisätilapaikannusratkaisujen yhteiskäyttö. Automaattisen sormenjälkitietokannan muodostamisen ja ylläpidon tavoitteena on vähentää sormenjälkipaikannuksen kalibroitivaiheen vaatimaa työmäärää.

Sisätilapaikannusteknologioiden yhteiskäytön kannalta eräs merkittävä askel on tutkimuksessa Gwon et al. (2004) esitelty Selective Fusion Location Estimation (SELFLOC) algoritmi. SELFLOC-algoritmi yhdistää eri paikannusmenetelmien sijaintiarviot yhdeksi sijaintiarvioksi. Tutkimuksessa Gwon et al. (2004) esitettyjen tulosten perusteella algoritmilla voidaan saavuttaa jopa 47 – 70 %:n parannus sijainnin määrittämisen tarkkuudessa. Algoritmin perusideana on laskea sijainti eri paikannusmenetelmistä saatujen sijaintiarvioiden painotettuna keskiarvona. Eri sijaintilähteiden painokertoimet määritetään ennen paikannusta tapahtuvassa kalibroitivaiheessa. (Gwon et al. 2004).

Sormenjälkipaikannuksen kalibroitivaiheen työmäärän vähentämiseksi on käytetty kahta erilaista lähestymistapaa. Kalibroitivaiheen työmäärää on pyritty vähentämään säteenseurantaan ja pohjapiirroskuvan automaattiseen tulkintaan perustuvilla radiokartan simulointimenetelmillä sekä muita paikannusteknologioita hyödyntävillä ristiinreferointimenetelmillä.

Tutkimuksessa Ji et al. (2006) pyrittiin vähentämään sormenjälkipaikannuksen kalibroitivaiheen vaatimaa työmäärää. Tutkimuksessa esitelty ARIADNE järjestelmä hyödynsi paikannettavan kohteen pohjapiirroksen automaattista tulkintaa ja RF-signaalin säteenseurantaa radiokartan automaattisessa muodostamisessa. Tutkimuksen tuloksissa raportoitiin, että ARIADNE pystyy tuottamaan yhden RSS-mittauksen avulla rakennuksen radiokartan, joka on vertailukelpoinen manuaalisesti mitatulle radiokartalle. (Ji et al. 2006).

Tutkimuksen Kim et al. (2010) tavoitteena oli niin ikään pienentää sormenjälkipaikannuksen kalibroitivaiheen työmäärää. Tutkimuksen ideana oli muodostaa sisätilapaikannusjärjestelmä, jossa mobiililaitteiden käyttäjät suorittavat passiivisesti sormenjälkitietokannan muodostamisen ja ylläpidon. Esitellyssä menetelmässä RF-signaalista muodostetut sormenjäljet kerättiin käyttäjien mobiililaitteilla osana käyttäjien normaalia arkea. Sormenjäljen keräyspaikka määritettiin seuraamalla käyttäjän sijaintia mobiililaitteen inertiasensoreiden avulla. Sormenjälkien sijainnin luotettavuuden arviointi perustui havaintoon, että inertiasensoreiden avulla määritetyn sijainnin tarkkuus heikkenee ajan funktiona. (Kim et al. 2010). Eräs käyttäjäyhteisön suorittamaan sormenjälkitietokannan ylläpitoon perustuva kaupallinen sisätilapaikannusratkaisu on Walkbase. Walkbase-paikannustietokannan sormenjälkiä päivitetään käyttäjien toimesta. Kun käyttäjä saapuu paikannettavaan tilaan, nauhoitetaan tilasta uudet sormenjälkihavainnot. Jos käyttäjä vahvistaa sijainnin, havainto on luotettava ja se saa suuremman painoarvon sijainnin määrittämisessä. (Walkbase).

Muutamien uusimpien kaupallisten sisätilapaikannusratkaisujen tavoitteena on muodostaa globaali, kaikkialla toimiva sisätilapaikannusjärjestelmä. Eräs esimerkki on vuonna 2005 perustettu Sensewhere. Sensewhere:n tavoitteena on muodostaa globaali eri RF-signaalin lähteitä hyödyntävä paikannustietokanta. Ratkaisu perustuu eri paikannusteknologioiden integraatioon ja niistä saatujen sijaintitietojen ristiinreferointiin sekä käyttäjäyhteisön hyödyntämiseen paikannustietokannan muodostamisessa ja ylläpidossa. (Sensewhere).

4 Integraation toteutusprosessi

Tässä luvussa on esitelty sisätilapaikannusratkaisun ja kyselytutkimussovelluksen integraation toteutusprosessi. Alaluku 4.1 käsittelee kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valintaprosessin. Seuraavassa alaluvussa 4.2 on kuvattu prototyypin toteutus. Alaluku sisältää olemassa olevan Quali-kyselytutkimusjärjestelmän kuvauksen, tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettavien käyttötapauksien kuvaukset, integraation tuomat muutokset järjestelmään sekä käyttötapauksien käyttöliittymä toteutuksen. Viimeisessä alaluvussa 4.3 kuvataan prototyypille toteutettu käyttäjätestaus.

4.1 Kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valinta

Tämä alaluku pitää sisällään kuvauksen kaupallisen sisätilapaikannusratkaisun valinnasta. Alaluvussa käydään läpi sisätilapaikannusratkaisun valintaan vaikuttaneet vaatimukset ja esitellään integraatioon valittu kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisu.

4.1.1 Mahdollisten ratkaisujen kartoitus

Yksi tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksistä oli määrittää Quali-kyselytutkimussovelluksen kannalta paras mahdollinen sisätilapaikannusratkaisu. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyä paikannusratkaisun valintaa voidaan kuvata kolmi-vaiheisen prosessin avulla. Ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli määrittää vaatimukset valittavalle sisätilapaikannusratkaisulle. Toisessa vaiheessa suoritettiin paikannusteknologian valinta. Paikannusteknologian valinnan perusteina käytettiin määritettyjä vaatimuksia ja kirjallisuuskatsauksessa esille tulleita paikannusteknologioita. Tarkoituksena oli siis valita määritettyjä vaatimuksia parhaiten vastaava paikannusteknologia. Viimeisen vaiheen tavoitteena oli löytää valittua paikannusteknologiaa hyödyntävä ja parhaiten määritettyjä vaatimuksia vastaava kaupallinen sisätilapaikannusratkaisu.

Vaatimukset

Sisätilapaikannusratkaisulle määritettiin viisi keskeistä vaatimusta, joiden perusteella ratkaisun valinta suoritettiin. Määritettyjä vaatimuksia olivat:

1. Käyttönoton helppous paikannettavassa kohteessa
2. Paikannus tulee olla mahdollista ilman erillisiä lisälaitteita

3. Vähintään huonetason tarkkuus
4. Integraatiota tukeva ohjelmointirajapinta
5. Tuki maantieteellisille WGS84-koordinaateille

Ensimmäisen, toisen ja kolmannen vaatimuksen taustalla ovat Qualikyselytutkimussovelluksen erityispiirteet ja sille ajateltu käyttötarkoitus. Qualikyselytutkimussovelluksen tutkimuskohteille on tyypillistä, että niitä on useita ja että ne vaihtuvat suhteellisen usein. Tyypillistä on myös, ettei paikannusratkaisua käytetä yhdessä tutkimuskohteessa pitkiä ajanjaksoja. Ajatuksena on myös, että sisätilapaikannuksen käyttöönotto olisi tulevaisuudessa mahdollista suorittaa Qualikyselytutkimussovellusta käyttävän tutkijan tai muun tahon toimesta ilman ulkopuolista avustusta. Jotta Quali-kyselytutkimussovellusta ja siihen yhdistettyä sisätilapaikannusta voidaan hyödyntää tilojen käytettävyystudkimuksen tiedonkeruutyökaluna, vaaditaan siltä vähintään huonetasoinen paikannustarkkuus. Tämä on tärkeää etenkin kerätyn tiedon luotettavuuden kannalta.

Ensimmäisellä vaatimuksella on haluttu varmistaa, että valittava paikannusratkaisu on mahdollista ottaa käyttöön uudessa tutkimuskohteessa ilman merkittäviä ajallisia tai taloudellisia resursseja. Toisella vaatimuksella tarkoitetaan, että paikannusratkaisua on pystyttävä käyttämään pelkän taulutietokoneen avulla ilman erillisiä paikannussignaalin lähettämiä tai vastaanottimia. Vaatimuksella varmistetaan, että paikannusratkaisun käyttöönotto on mahdollista myös tilankäytettävyystudkimusta tekevän tahon toimesta. Kolmannen vaatimuksen avulla on määritetty paikannusratkaisulta vaadittu sijaintitarkkuus.

Neljännellä vaatimuksella haluttiin varmistaa, että kyselytutkimussovelluksen ja sisätilapaikannusratkaisun integraatio on mahdollista toteuttaa. Vaatimuksella haluttiin karsia sellaiset vaihtoehdot, joiden integraatio olisi vaatinut kohtuuttoman määrän ohjelmointityötä tähän tutkimukseen käytettävissä oleviin resursseihin nähden.

Viimeisellä vaatimuksella haluttiin mahdollistaa valittavan sisätilapaikannusratkaisun ja GPS-paikannuksen sulava yhteiskäyttö. Koska GPS-paikannuksessa tyypillisesti käytetty koordinaattijärjestelmä on WGS84, haluttiin myös sisätilapaikannuksen tukevan tätä järjestelmää. WGS84 on myös useissa paikkatiedon tarkasteluun tarkoitetuissa karttas-

velluksissa tuettu koordinaattijärjestelmä, joten sen oletettiin helpottavan myös paikannustiedon visualisointia.

Paikannusteknologian valinta

Paikannusteknologian valinnan kannalta merkittäviä vaatimuksia ovat etenkin käyttöönoton helppous, lisälaitesennusten välttäminen ja ratkaisulta vaadittu sijaintitarkkuus. Taulukkoon 1 on koottu eri paikannusteknologioiden ominaisuudet Quali-kyselytutkimussovelluksen asettamien vaatimusten kannalta. Taulukon sarakkeista käyttöönotolla tarkoitetaan paikannusteknologian käyttöönoton vaatimaa työmäärää uudessa kyselytutkimuskohteessa. Vastaavasti laitehankinnoilla tarkoitetaan uusia laitteita, jotka on ostettava, kun sisätilapaikannus otetaan käyttöön uudessa tilassa. Sijaintitarkkuudella tarkoitetaan arviota paikannusmenetelmän mahdollistamasta paikannustarkkuudesta. Eri paikannusteknologioiden tarkkuus on pitkälti riippuvainen paikannettavasta tilasta ja paikannusinfrastruktuurista. Tästä syystä annetut sijaintitarkkuuslukemat eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Taulukossa lukemat kuvaavat paikannusteknologian mahdollistamaa tarkkuutta teknologialle suotuisissa olosuhteissa. Rajoitteet sarakkeeseen on koottu paikannusratkaisun mahdolliset rajoitteet Quali-kyselytutkimussovelluksen käyttökontekstin kannalta. Taulukon tiedot on koostettu kirjallisuuskatsauksessa esitettyjen tietojen pohjalta.

Taulukko 1. Paikannusteknologioiden ominaisuudet Quali-kyselytutkimussovelluksen kannalta.

Teknologia	Käyttöönotto	Laitehankinnat	Sijaintitarkkuus	Rajoitteet
Pseudoliitti-paikannus	Pseudoliittien asennus ja kalibrointi	Pseudoliitit	2 – 10 m	Vaatii toimiakseen esteettömän ja avoimen tilan, laitteiden korkea hinta, käyttöönoton vaatima työmäärä
RFID-paikannus	RFID-tagien asennus ja kalibrointi	RFID-tagit ja mahdollinen RFID-lukija	Riippuu asennettujen RFID-tagien määrästä	Käyttöönoton vaatima työmäärä

Sormenjälki- paikannus	Radiokartan muodostaminen	-	Noin 2 – 10 m, riippuu sormen- jälki-näytteiden keräystiheydestä	Vaatii tilan, jossa on riittävä määrä havaitta- vissa olevia RF- signaalinlähteitä
Inertia- paikannus	Mahdollinen radiokartan muodostaminen	Mahdolliset käyttäjään kiin- nitettävät erilli- set IMU:t	2 – 10 m, tark- kuus heikkenee ajan funktiona ja riippuu pitkältä käytetystä ulkoi- sesta paikannus- menetelmästä	Paikannettavan laitteen tulisi liikkua ainoas- taan käyttäjän todellisten liik- keiden mukana. Tarvitaan mah- dollisesti erilli- nen käyttäjään kiinnitettävä IMU

Kaikkien tarkasteltujen paikannusteknologioiden sijaintitarkkuus on kyselytutkimussovelluksen käyttötarkoituksen kannalta riittävä. Pseudoliittipaikannuksen suurimmat ongelmat tämän tutkimuksen kannalta ovat laitehankinnat ja niistä muodostuvat kustannukset sekä se, että ratkaisu vaatii toimiakseen esteettömän ja avoimen tilan. Vastaavasti myös RFID-paikannuksessa suurin ongelma muodostuu menetelmän vaatimista laitehankinnoista. Lisäksi sekä pseudoliitti-, että RFID-paikannuksen käyttöönotto vaatii huomattavan määrän työtä. Koska kyselytutkimussovelluksen tutkimuskohteita on useita ja ne vaihtelevat usein, muodostuu käyttöönoton vaatima työ määrä merkittäväksi ongelmaksi.

Inertiapaikannuksen merkittävin rajoitus kyselytutkimussovelluksen käyttötarkoituksen kannalta on se, että käytettäessä paikanmääritykseen taulutietokoneen sisäsäänrakennettuja inertiasensoreita, taulutietokone tulisi liikkua ainoastaan käyttäjän todellisten liikkeiden mukana. Quali-kyselytutkimussovelluksessa on kuitenkin tarve liikutella taulutietokonetta esimerkiksi valokuvausta vaativien kysymysten yhteydessä, joten inertia-paikannuksen toimintavarmuuden oletettiin aiheuttava ongelmia. Vaihtoehtona olisi

ollut myös hankkia erillisiä käyttäjään kiinnitettäviä IMU:ita. Tällaisia laitehankintoja pyrittiin kuitenkin Quli-kyselytutkimussovelluksen tapauksessa välttämään.

Taulukoon 1 kerättyjen paikannusratkaisujen ominaisuuksien perusteella valikoitui sormenjälkipaikannus Quali-kyselytutkimussovelluksen kannalta parhaaksi sisätilapaikannusteknologiaksi. Pseudoliitti- ja RFID-paikannuksista poiketen sen käyttöönottamiseksi ei vaadita erillisen paikannusinfrastruktuurin rakentamista. Tämän lisäksi paikannus on mahdollista toteuttaa tutkittavan kohteen WLAN-verkkoa ja taulutietokoneen sisäistä WLAN-korttia hyödyntäen, joten myöskään erillisiä laitehankintoja ei tarvita.

Kaupallisten ratkaisujen kartoitus ja valinta

Kaupallisten sisätilapaikannusratkaisujen kartoitus rajoitettiin koskemaan paikannusteknologiaksi valittua sormenjälkipaikannusta. Tavoitteena oli siis löytää sormenjälkipaikannukseen perustuva kaupallinen sisätilapaikannusratkaisu. Kaupallisten sisätilapaikannusratkaisujen kartoitus suoritettiin sähköisen tiedonhaun avulla. Taulukkoon 2 on koottu tämän tutkimuksen yhteydessä tarkasteltujen kaupallisten sisätilapaikannusratkaisujen ominaisuudet. Taulukossa 2 arvioidut ominaisuudet liittyvät subjektiivisesti tämän tutkimuksen tavoitteisiin, eikä niiden perusteella voida tehdä yleistäviä päätelmiä paikannusratkaisujen keskinäisestä paremmuudesta.

Taulukko 2: Kaupallisten sisätilapaikannusratkaisujen ominaisuudet.

Ratkaisu	Avoin ohjelmointi rajapinta	Koordinaatti järjestelmä	Paikannusteknologia
NAO Campus	-	WGS84	Sormenjälkipaikannus (WLAN), GPS
Walkbase	Android API	Symbolinen	Sormenjälkipaikannus (WLAN)
Sensewhere	-	WGS84	Sormenjälkipaikannus (WLAN, GPS, GSM)
SenionLab	Android API	WGS84	Sormenjälkipaikannus (WLAN) ja inertia-paikannus
Qubulus	Android API	WGS84	Sormenjälkipaikannus (WLAN; GSM)

Tämän tutkimuksen tekohetkellä sormenjälkipaikannus oli suhteellisen uusi teknologia. Vaatimuksia vastaavia kaupallisia ratkaisuja ei löytynyt useita. Jotkin sormenjälkipaikannukseen perustuvat kaupalliset ratkaisut tarjosivat sisätilojen kartoitusta ja valmiita paikannussovelluksia. Ratkaisut eivät kuitenkaan sisältäneet tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettavan integraation vaatimaa ohjelmointirajapintaa. Eräs tällainen ratkaisu oli esimerkiksi NAO Campus (Polestar: NAO Campus).

Tämän tutkimuksen vaatimusten kannalta potentiaalisiksi kaupallisiksi ratkaisuvaihtoehtoiksi valikoituivat Walkbase, Sensewhere, SenionLab ja Qubulus. Näistä jokainen tarjosi integraation vaatiman ohjelmointirajapinnan. Ratkaisun valintaa vaikeutti se, että edellä mainitut kaupalliset sisätilapaikannusratkaisut olivat melko tuoreita, eikä niiden tarkkuudesta tai toimivuudesta ollut saatavilla puolueetonta tietoa.

Ratkaisuvaihtoehtoista Walkbase perustui symbolisen sijaintitiedon käyttöön, eikä se tästä johtuen ollut asetettujen vaatimusten kannalta soveltuvin ratkaisu (Walkbase). Muut ratkaisuvaihtoehdot käyttivät sijainnin esittämiseen WGS84 koordinaatteja.

Sensewhere:n paikannusratkaisu perustui käyttäjäyhteisön tekemiin sormenjälkikartoi-
tuksiin. Ongelmana oli kuitenkin se, että tutkimuksen tekohetkellä Sensewhere:n ohjel-

mointirajapinta ei ollut vielä julkaistu. (Sensewhere). Quali-kyselytutkimussovelluksen ja tämän työn yhteydessä määritettyjen vaatimusten kannalta SenionLab ja Qubulus olivat varteenotettavimmat vaihtoehdot. Qubuluksen paikannusratkaisu pohjautui WLAN- ja GSM-tukiasemien lähettämien radiotaajuussignaalien avulla tapahtuvaan sormenjälkipaikannukseen (Qubulus). SenionLabin ratkaisu pohjautui puolestaan sormenjälkipaikannuksen ja mobiililaitteen inertiasensoreiden yhteiskäyttöön (SenionLab).

Jotta Qubuluksen ja SenionLab:in tarjoaminen paikannusratkaisujen paremmuus Quali-kyselytutkimussovelluksen kannalta olisi ollut mahdollista määrittää varmasti, olisi molempia ratkaisuja pitänyt testata käytännössä. Tähän ei kuitenkaan tämän tutkimuksen puitteissa ollut riittävästi resursseja. Lopullinen valinta Qubuluksen ja SenionLab:in välillä perustui yritysten www-sivuilta saatuihin tietoihin. Integraatiossa käytettäväksi ratkaisuvaihtoehdoksi valittiin Qubulus sisätilapaikannusratkaisu. Lopulliseksi ratkaisunvalintaperusteeksi muodostui se, että Qubuluksen tarjoamassa paikannusratkaisussa hyödynnettiin WLAN-signaalin lisäksi myös GSM-tukiasemien lähettämää signaalia. GSM-signaalin hyödyntämisen oletettiin mahdollistavan sisätilapaikannuksen käyttämisen myös tiloissa, joissa WLAN-verkon kuuluvuus on heikko. Ratkaisun valintaan vaikutti osaltaan myös se, että inertiaipaikannuksen toimintavarmuus oli epävarmaa, kun taulutietokonetta liikutetaan, esimerkiksi valokuvauskysymysten yhteydessä, ilman käyttäjän varsinaista etenemistä tilassa.

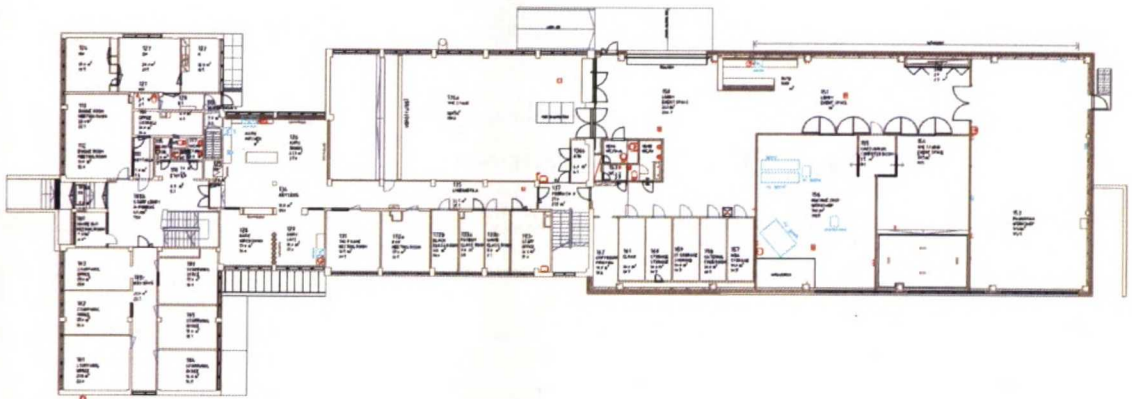
4.1.2 Valitun ratkaisun esittely ja käyttöönotto

Quali-kyselytutkimussovellukseen integroitavaksi kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisuksi valittiin ruotsalaisen Qubulus nimisen yrityksen tarjoama Qubulus paikannusjärjestelmä (Qubulus Positioning System, QPS). QPS on WLAN- ja GSM-tukiasemien RF-singaaliehin perustuva sormenjälkipaikannusratkaisu. QPS-sisätilapaikannusratkaisu koostuu radiokartanmuodostamiseen tarkoitetusta Gecko-nauhoitustyökalusta, LockLizard Positioning API ohjelmointirajapinnasta ja verkkopalveluna toteutetusta paikannuspalvelimesta. (Qubulus - Technology 2012).

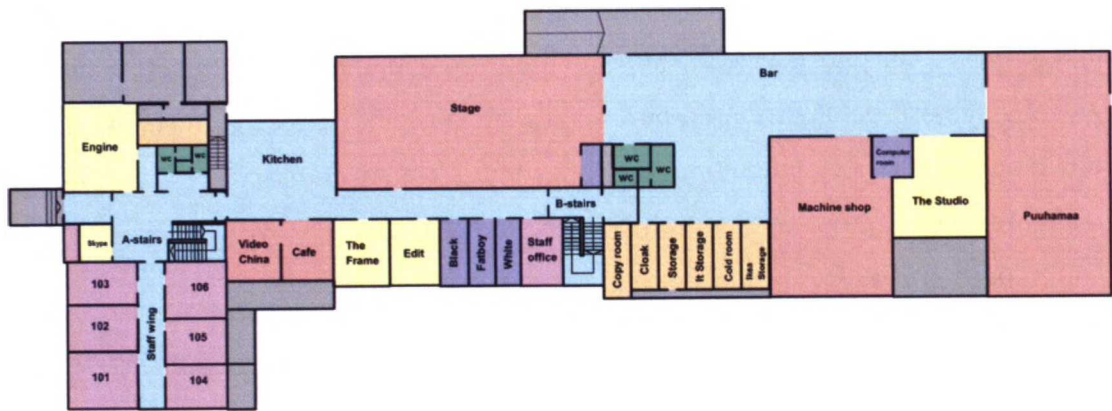
Paikannuksen käyttöönotto

QPS paikannusratkaisun käyttöönotto paikannettavassa kohteessa voidaan jakaa kolmeen työvaiheeseen: 1) Paikannettavan tilan pohjapiirroksen hankkiminen, mahdollinen muokkaus ja sen kulmakoordinaattien määrittäminen. 2) Sormenjälkinäytteiden nauhoittaminen ja lähettäminen prosessointiin. 3) Sisätilapaikannuksen toimivuuden todentaminen. (Qubulus – Technology 2012).

Paikannusratkaisun käyttöönoton ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan paikannettavan tilan georeferointi WGS84 koordinaattijärjestelmään. (Qubulus – Gecko GPS Corner Coordinate Guide 2012). Koska sisätilapaikannusta tullaan käyttämään mobiililaitteissa, jonka näytön koko on rajoitettu, on paikannettavan kohteen pohjapiirroksen yksinkertaistaminen usein tarpeen. Esimerkiksi tämän tutkimuksen yhteydessä sisätilapaikannuksen testikohteena käytettiin Aalto-yliopiston Otaniemien kampusalueella sijaitsevan Design Factory:n tiloja. Kuvassa 4 esitetty tilan alkuperäinen pohjapiirros sisälsi kartan ymmärtämisen kannalta liikaa yksityiskohtia. Tästä syystä pohjapiirroksesta muokattiin yksinkertaistettu versio, joka on esitetty kuvassa 5. Pohjapiirroksen yleistäminen suoritettiin käsin.



Kuva 4: Aalto Design Factory tilojen alkuperäinen pohjapiirros.



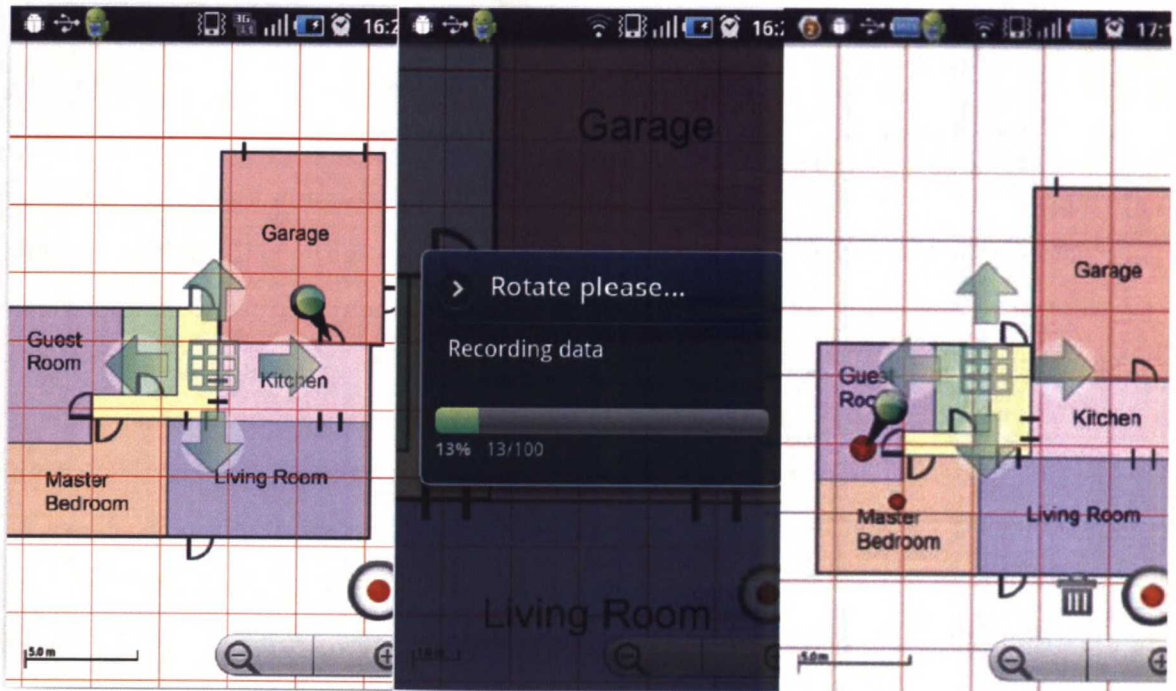
Kuva 5. Aalto Design Factory tilojen yksinkertaistettu pohjapiirros.

Kun paikannettavan tilan pohjapiirros on muokattu haluttuun muotoon, suoritetaan sen georeferointi. Käytännössä tällä tarkoitetaan pohjapiirroksen maantieteellisten luoteis- ja lounaskulmakoordinaattien määrittämistä. Koordinaattien määrittämisen aputyökaluna voidaan käyttää esimerkiksi Google Earth sovellusta. Google Earth-sovelluksen avulla pohjapiirroksen kulmakoordinaatit määritetään asettamalla kuva kartan päälle sen oikeaan fyysiseen sijaintiin, kääntämällä kuva oikeaan orientaatioon ja skaalaamalla kuva oikeaan kokoon. Kun edellä mainitut toimenpiteet on suoritettu, otetaan ylös kuvan luoteis- ja lounaskulmakoordinaatit mikroasteina. Koordinaatit tallennetaan omille riveilleen gps-päätteiseen tekstitiedostoon. (Qubulus – Gecko GPS Corner Coordinate Guide 2012).

QPS-paikannusratkaisun käyttöönoton seuraava vaihe on sormenjälkinäytteiden nauhoittaminen paikannettavassa tilassa. Sormenjälkinäytteiden nauhoittaminen tapahtuu QPS-järjestelmään kuuluvan Gecko-nauhoitustyökalun avulla. Gecko-nauhoitustyökalu on Android-alustaisissa mobiililaitteissa toimiva sovellus, joka kerää sormenjälkipaikannukseen tarvittavat WLAN- ja GSM-signaalien voimakkuustiedot. Jotta Gecko-nauhoitustyökalua voidaan käyttää halutussa tilassa, on mobiililaitteen muistikortille tallennettava paikannettavan kohteen pohjapiirros sekä, edellisessä vaiheessa luotu, pohjapiirroksen kulmakoordinaatit sisältävä tekstitiedosto. (Qubulus – Gecko Recording and Exporting 2012).

Gecko-nauhoitustyökalun käyttöä on havainnollistettu kuvasarjassa 6. Yhden sormenjälkinäytteen nauhoittaminen tapahtuu seuraavissa vaiheissa. Ensin osoitetaan näytteenotto paikan sijainti pohjapiirroksella. Tämän jälkeen liikutaan mobiililaitteen kanssa

osoitettua sijaintia vastaavaan fyysiseen paikkaan ja aloitetaan nauhoitus. Nauhoituksen aikana pyöritään paikallaan 360 astetta, kunnes nauhoitus on päättynyt. Nauhoitetut näytteet näkyvät pohjapiirroksen päällä punaisina pisteinä. Yhden sormenjälki näytteen ottaminen kestää noin minuutin. Näytteitä pyritään ottamaan noin 5 – 7 metrin välein mahdollisimman tasaisesti paikannettavassa kohteessa. (Qubulus – Gecko Recording and Exporting 2012).



Kuva 6: Gecko nauhoitustyökalun käyttö. Lähde (Qubulus – Gecko Recording and Exporting 2012).

Kun paikannettavasta kohteesta on kerätty riittävä määrä sormenjälkinäytteitä, suoritetaan Gecko-nauhoitustyökalun export-toiminto. Export-toiminto tallentaa otetut näytteet yhteen tiedostoon. Tämän jälkeen sormenjälkinäytteet sekä kohteen pohjapiirros ja sen kulmakoordinaatit pakataan yhdeksi tiedostoksi ja lähetetään Qubulus asiakastukeen prosessoimista varten. Kun lähetetty paikannusaineisto on prosessoitu, lähettää Qubulus asiakastuki takaisin paikannustiedoston, asiakastunnuksen ja kohdetunnuksen. Paikannustiedoston avulla voidaan suorittaa sisätilapaikannuksen toimivuuden testaus Gecko ohjelmaa hyödyntäen. Asiakastunnuksen ja kohdetunnuksen avulla voidaan tehdä reaaliaikaisia paikannuspyyntöjä QPS paikannuspalvelimelle LockLizard paikannus-API:n tarjoaminen asiakaspuolen toiminnallisuuksien välityksellä. (Qubulus – Gecko Recording and Exporting 2012).

Ohjelmointirajapinnan kuvaus

Tämän työn yhteydessä tehtävän kyselytutkimussovelluksen ja sisätilapaikannusratkaisun integraation kannalta yksi tärkeimmistä QPS-sisätilapaikannusratkaisun tärkeimmistä osista on sen tarjoama LockLizard API-sovelluskehitysrajapinta. LockLizard on Android-alustalle kehitetty ohjelmointikirjasto, jonka avulla Quali-kyselytutkimusjärjestelmään liittyvästä taulutietokonesovelluksesta otetaan yhteys QPS-paikannuspalvelimeen.

LockLizard API koostuu joukosta Java-paketteja (Java Archive, jar), jotka liitetään osaksi taulutietokonesovelluksen ohjelmointikirjastoja. Paikannuksen kannalta LockLizard API:n tärkeimmät luokat ovat *PositioningManager* ja *RemotePositioningService*. *RemotePositioningService* on Android sovelluskehityskirjaston *Service* luokasta periytetty erillisessä ohjelmasäikeessä toimiva palvelu, jonka tehtävänä on havaita tasaisin väliajoin WLAN- ja GSM-signaalien voimakkuustiedot, lähettää nämä QPS paikannuspalvelimelle sijainnin määrittystä varten ja välittää paikannuspalvelimen palauttama sijainti takaisin käyttöliittymäsäikeeseen. *RemotePositioningService* luokkaa käytetään *PositioningManager* luokan kautta. *PositionManager* luokan kautta käynnistetään ja suljetaan *RemotePositioningService* sekä määritetään sijainninpäivitystiheys.

Jotta *RemotePositioningManager* pystyy lähettämään pyyntöjä QPS-paikannuspalvelimelle, on taulutietokonesovelluksen merkkijonoresurssitiedostoon liittävä Qubulus asiakastuesta saatu asiakastunnus. Lisäksi pyyntöön on sisällytettävä niin ikään Qubulus-asiakastuesta saatu kohdetunnus. Kohdetunnus on, asiakastunnuksesta poiketen, mahdollista sisällyttää pyyntöön ohjelman ajon aikana.

4.2 Prototyypin toteutus

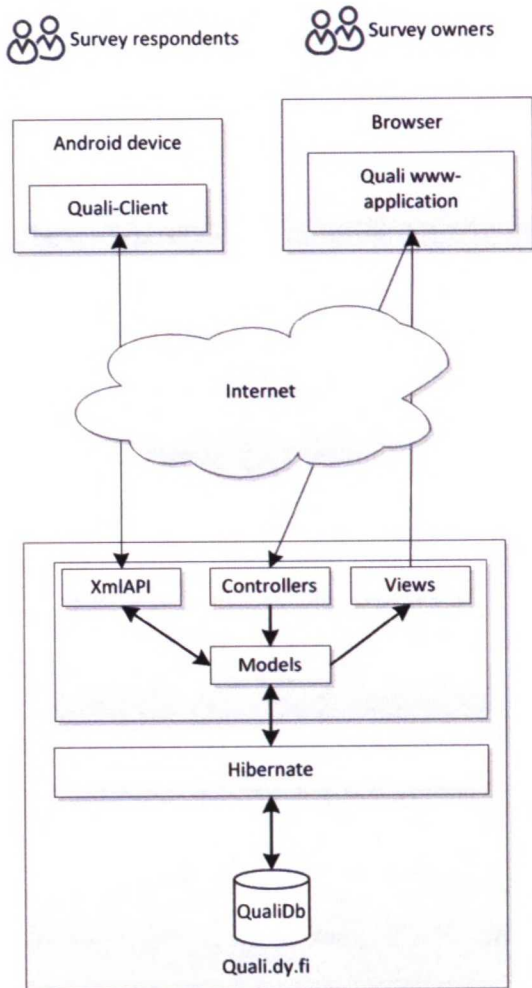
Tämä alaluku sisältää kuvauksen sisätilapaikannusratkaisun ja kyselytutkimussovelluksen integraation toteutuksesta. Ensimmäisenä esitellään integraation kohteena oleva Quali-kyselytutkimusjärjestelmä. Tämän jälkeen alakappaleessa 4.2.2 kuvataan tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettavat käyttötapaukset. Alaluvussa 4.2.3 on kuvattu integraation Quali-järjestelmään aiheuttamat muutokset. Viimeisenä esitellään käyttötapauksen käyttöliittymätoteutukset.

4.2.1 Olemassa olevan järjestelmän kuvaus

Järjestelmä, johon sisätilapaikannusratkaisu tullaan tämän tutkimuksen aikana integroimaan, on Quali-kyselytutkimusjärjestelmä. Quali-kyselytutkimusjärjestelmä on tutkimuskäyttöön kehitetty ja osittain vielä kehitysasteella oleva sähköisten kyselyiden luonti- ja vastaussovellus. Tässä alaluvussa on kuvattu Quali-kyselytutkimusjärjestelmän järjestelmä-, sovellus- ja tietokanta-arkkitehtuurit tilassa, jossa ne olivat ennen integraation aloittamista. Ensimmäisenä käydään läpi Quali-järjestelmä yleisellä tasolla. Tämän jälkeen esitellään tarkemmin Quali-järjestelmään liittyvä palvelinsovellus ja taulutietokonesovellus.

Järjestelmän yleiskuvaus

Quali-kyselytutkimussovellus koostuu kahdesta osasta. Kyselyjen tekeminen, hallinta, julkaisu ja vastausten tarkastelu tapahtuvat Internet-selainkäyttöisen sovelluksen avulla. Valmiiden kyselyiden selaaminen ja niihin vastaaminen tapahtuu Quali-kyselytutkimussovelluksessa erillisen Android-alustalle rakennetun taulutietokonesovelluksen avulla. Järjestelmän eri osia ja niiden suhdetta toisiinsa on havainnollistettu kuvassa 7. Kuva on muodostettu tutkimalla Quali-kyselytutkimusjärjestelmän teknisessä dokumentaation (Lankinen et al. 2012) sanallisten kuvausten perusteella.



Kuva 7: Quali-kyselytutkimussovelluksen yleiskuvaus. Kuva on muodostettu Quali-kyselytutkimussovelluksen teknisen dokumentaation (Lankinen et al. 2012) sanallisten järjestelmäkuvausten pohjalta.

Kuten kuvasta 7 voidaan havaita, Quali-järjestelmällä on kahdentyyppisiä käyttäjiä: 1) kyselyn omistajia ja 2) kyselyyn vastaajia. Kyselyn omistajat ovat vuorovaikutuksessa Quali-järjestelmän kanssa pääasiassa järjestelmään kuuluvan Internet-selainkäyttöisen sovelluksen kautta. Kyselyn omistajien järjestelmällä pääasiallisesti suorittamat toimenpiteet ovat kyselyiden tekeminen, niiden julkaisu ja kyselyyn saatujen vastausten tutkiminen. Järjestelmän toisen käyttäjäryhmän, kyselynvastaajien, vuorovaikutus tapahtuu taulutietokonesovelluksen kautta. Kyselynvastaajien pääasialliset tehtävät ovat kyselyn lataaminen, siihen vastaaminen ja kyselyn vastausten lähettäminen.

Palvelinsovellus

Quali-järjestelmän ydin on Grails 1.3.7-sovelluskehiksen (Grails) päälle rakennettu palvelintoiminnallisuudet toteuttava sovellus. Quali-palvelinsovellus vastaa kyselyiden

luomiseen tarkoitetun www-käyttöliittymän toteutuksesta, kyselyiden ja niihin annettujen vastausten tallentamisesta tietokantaan sekä kyselyjen välittämisestä Qualitaulutietokonesovellukseen.

Quali-palvelinsovelluksen www-käyttöliittymä on toteutettu Gsp-sivujen (Grails server pages, Gsp) ja niihin sisällytettyjen Javascript-koodien avulla. Gsp-sivut käännetään dynaamisesti selaimen ymmärtämäksi html-koodiksi. Javascript-koodin avulla on puolestaan toteutettu käyttöliittymän selainpäässä tapahtuva interaktio sekä AJAX-kutsut selaimen ja palvelinsovelluksen välillä. Osassa Javascript-koodin avulla toteutettuja toiminnallisuuksia on hyödynnetty JQuery-ohjelmointikirjastoa (JQuery). Quali-palvelinsovelluksessa käytettäviä ohjelmointikieliä ovat palvelinpuolella Java ja Groovy sekä asiakaspuolella Javascript, Html ja Css.

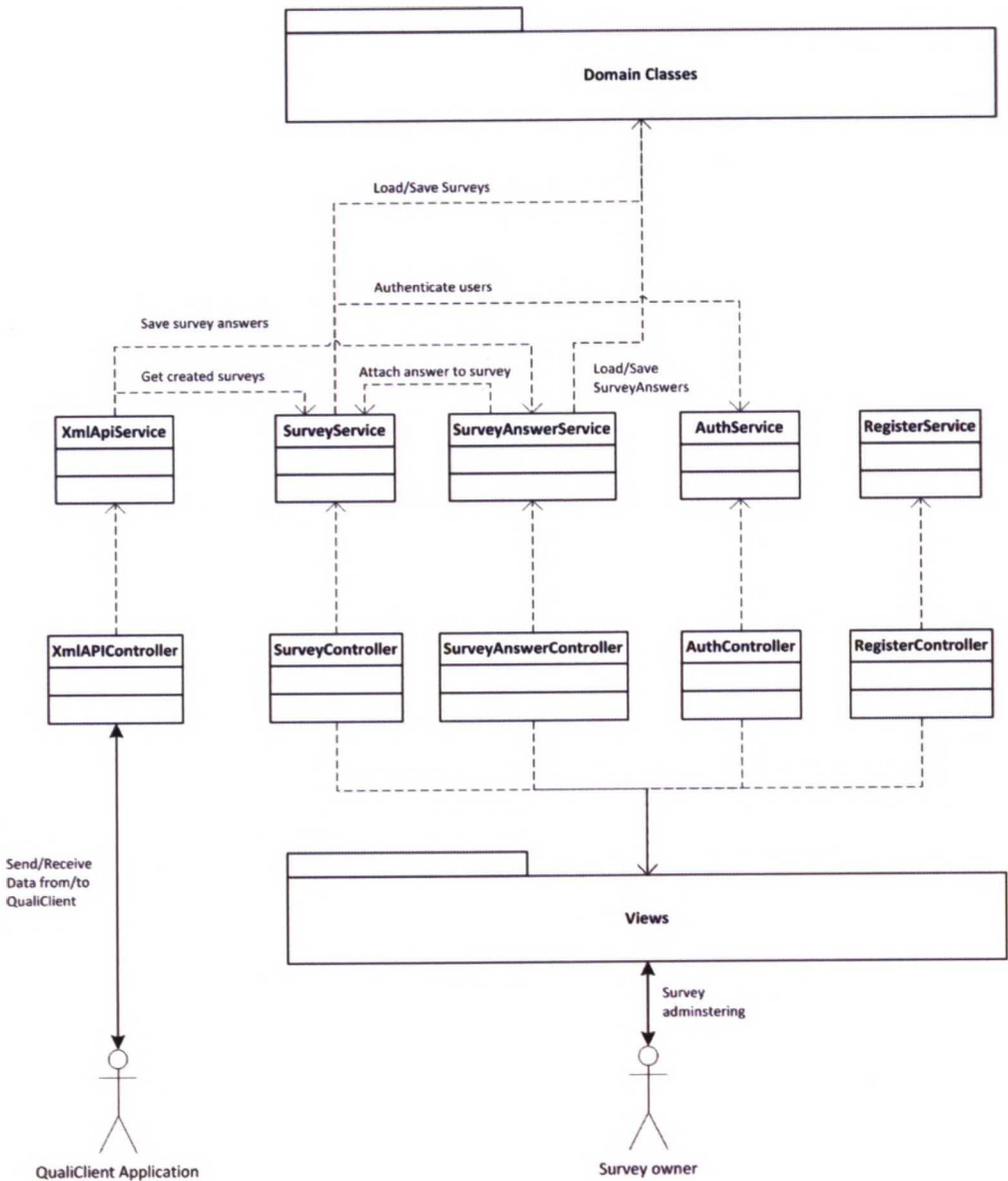
Quali-palvelinsovelluksen tietokanta on toteutettu MySQL 5.1 tiedonhallintajärjestelmän päälle. Quali-palvelinsovelluksen tietokantataulut sekä palvelinsovelluksen ja tietokannan välinen kommunikaatio on abstraktioitu Hibernate (Hibernate) ORM-kirjaston (Object Relational Mapping, ORM) avulla.

Tiedon välitys Quali-palvelimen ja taulutietokonesovelluksen välillä tapahtuu palvelinsovellukseen toteutetun Xml-rajapinnan kautta. Xml-rajapinta on REST-arkkitehtuurin (Representational State Transfer, REST) mukaisesti toteutettu tilaton palvelu, jonka kautta Quali-taulutietokonesovellus hakee kyselyn ja lähettää kyselyn vastaukset tallennettavaksi tietokantaan.

Quali-palvelinsovellus on rakennettu Grails MVC-sovelluskehiksen (Model-View-Controller, MVC) päälle. Palvelinsovellus koostuu MVC-mallin mukaisesti näkymä- (View), kontrolloija- (Controller), malli- (Model) ja palveluluokista (Service). Quali-palvelinsovelluksen MVC-pohjaista arkkitehtuuria on havainnollistettu kuvassa 8. Kuva 8 on muodostettu Quali-kyselytutkimussovelluksen teknisen dokumentaation (Lankinen et al. 2012) ja palvelin sovelluksen lähdekoodianalyysin avulla. Palvelinsovellukseen liittyvät malliluokat ja niiden keskinäiset relaatiot on esitetty tarkemmin kuvassa 9. Kuva 9 löytyy suurempikokoisena liitteestä 1.

Kyselynomistajan ja sovelluksen välinen interaktio tapahtuu näkymäluokkien kautta. Sovelluksen kontrolloijaluokat vastaavat näkymäluokkien näyttämisestä käyttäjälle ja käyttäjältä saatujen pyyntöjen prosessoinnista. Palveluluokat toteuttavat sovelluksen

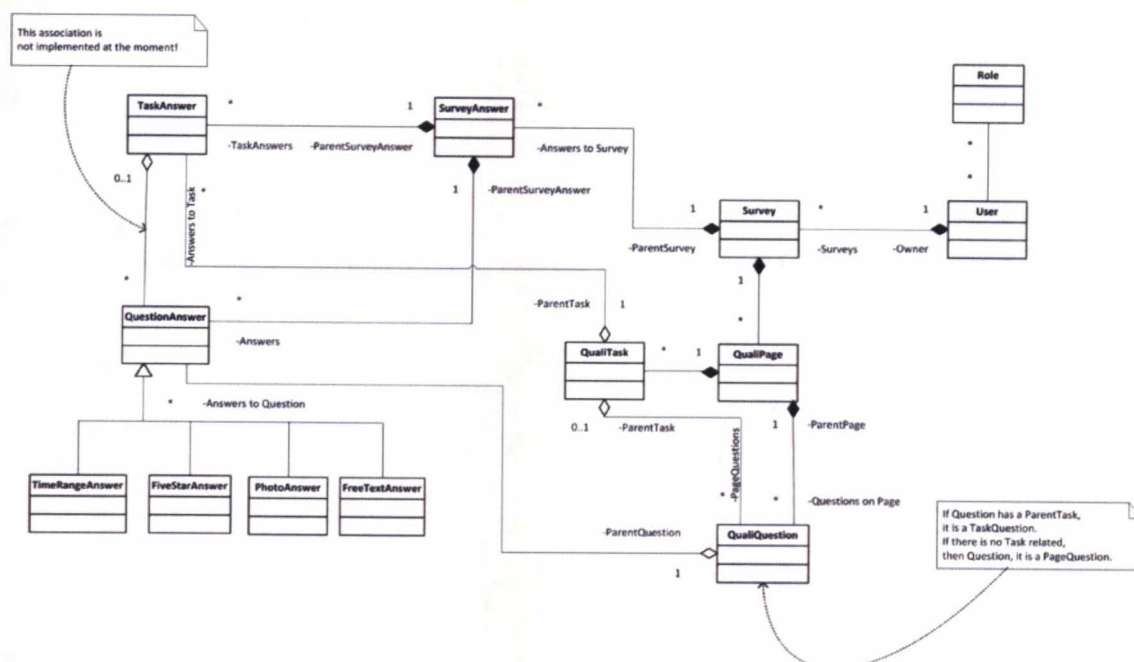
liiketoimintalogiikan. Palvelinsovelluksen malliluokat voidaan puolestaan ajatella Quali-palvelinsovelluksen tietokantataulujen abstraktioina.



Kuva 8: Quali-palvelinsovelluksen MVC-pohjainen sovellusarkkitehtuuri. muodostettu Quali-kyselytutkimussovelluksen teknisen dokumentaation (Lankinen et al. 2012) ja palvelin sovelluksen lähdekoodianalyysin avulla.

Kuvassa 8 kuvattuja, palvelinsovelluksen tärkeimpiä osakokonaisuuksia ovat *XmlApiController* ja *XmlApiService*, *SurveyController* ja *SurveyService*, *SurveyAnswerController* ja *SurveyAnswerService*, *AuthController* ja *AuthService* sekä näihin liittyvät näky-mä- ja tietokantaluokat.

XmlApi-luokkien tehtävänä on mahdollistaa taulutietokonesovelluksen ja palvelinsovelluksen välinen kommunikaatio. *XmlApiService* muodostaa tallennetuista kyselyistä Xml-muotoisen kuvauksen, joka välitetään *XmlController*-luokan kautta taulutietokonesovellukselle. *XmlApiController* ottaa myös vastaan kyselyn taulutietokonesovelluksesta lähetetyt Xml-muotoiset vastaukset. *SurveyController*, *SurveyService* ja liiketoimintaluokka *Survey* vastaavat kyselyille tehtävistä operaatioista, kuten kysymysten lisäämisestä ja kyselyn julkaisemisesta. *SurveyAnswer*-luokat vastaavat puolestaan kyselyn vastausten tallentamisesta ja lataamisesta. *AuthController* ja *-Service* luokkien tehtävänä on puolestaan toteuttaa käyttäjien tunnistaminen.



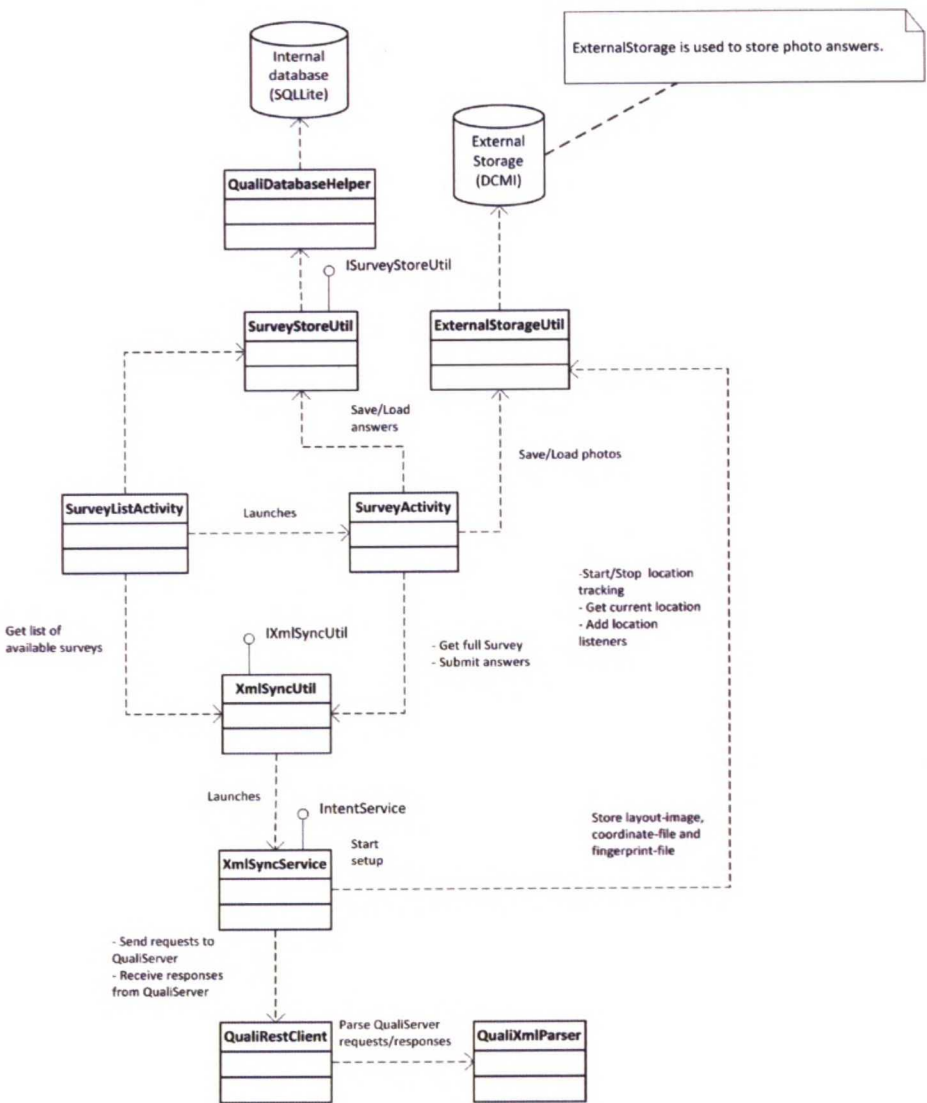
Kuva 9: Quali-palvelinsovelluksen alkuperäiset malliluokat ja niiden väliset relaatiot. Muokattu lähteestä Lankinen et al. (2012).

Kuvassa 9 on esitetty Quali-palvelinsovelluksen malliluokat ja niiden väliset relaatiot. Tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettavan paikannusratkaisun integraation kannalta olennaisia malliluokkia ovat *Survey* ja *QualiPage*. Malliluokka *Survey* kuvaa yhtä kyselyä. Yhteen kyselyyn liittyy aina kyselyn omistaja sekä 0-N määrä vastauksia ja kyselysivuja. *QualiPage* kuvaa puolestaan yhtä kyselyn sivua. Kyselysivu kuuluu aina johonkin kyselyyn. Siihen liittyy 0-N kappaletta kysymyksiä ja usean vastauskerran mahdollistavia kysymyspattereita (*QualiTask*).

Taulutietokonesovellus

Quali-järjestelmään kuuluva taulutietokonesovellus on toteutettu Android 3.0 ohjelmointialustan avulla. Taulutietokoneen sisäiseen tiedontallennukseen käytettävä tietokanta on toteutettu SQLite (SQLite) tietokantajärjestelmän avulla. Taulutietokonesovelluksessa käytettävä ohjelmointikieli on Java.

Taulutietokonesovelluksen tärkeimmät osat on esitetty sovellusarkkitehtuurikuvassa 10. Suurempikokoinen versio kuvasta on esitetty tämän tutkimuksen liitteessä 2.



Kuva 10: Quali-taulutietokonesovelluksen sovellusarkkitehtuuri ennen integraatiota. Muokattu lähteestä Lankinen et al. (2012).

Kuvasta 10 voidaan erottaa Quali-taulutietokonesovelluksen kolme päätoiminnallisuutta toteuttavaa osaa: 1) *SurveyListActivity* ja *SurveyActivity* ovat sovelluksen käyttöliitty-

män toteuttavia osia. 2) *XmlSyncUtil*, *XmlSyncService*, *QualiRestClient* ja *QualiXmlParser* toteuttavat taulutietokonesovelluksen ja palvelinsovelluksen välisen kommunikaation. 3) *Internal database*, *external storage*, *QualiDatabaseHelper*, *SurveyStoreUtil* ja *ExternalStorageUtil* liittyvät väliaikaistiedon tallentamiseen taulutietokoneeseen.

Sovelluksen Activity-luokat vastaavat käyttöliittymän toteutuksesta. Activity-luokkiin liittyy aina niitä vastaava xml-tiedosto, jossa kyseisen käyttöliittymän osan visuaalinen rakenne on määritelty. Activity-luokat vastaavat myös Android-sovelluksen elämänsyklin hallinnasta ja niissä on toteutettu kyseisen käyttöliittymänäkymän luomiseen ja tuhoamiseen liittyvät toiminnallisuudet.

Kommunikaatio palvelin- ja taulutietokonesovelluksen välillä tapahtuu *XmlSyncService*-luokassa. *XmlSyncService* on erilliseen ohjelmakäyttöön toteutettu palvelu. Muu sovellus pääsee palveluun käsiksi *XmlSyncUtil*-luokan välityksellä. *QualiRestClient*-luokkaan on toteutettu http-get ja – post pyyntöjä palvelinsovellukselle lähettävät toiminnallisuudet. *QualiXmlParser* suorittaa puolestaan Xml-muotoisten pyyntöjen ja vastauksien parsimisen.

Sovellukseen liittyvä tieto, kuten ladatut kyselyt ja niihin liittyvät vastaukset, tallennetaan taulutietokoneen sisäiseen relaatiotietokantaan. Vastaukseksi otetut valokuvat tallennetaan puolestaan binääritiedostoina suoraan laitteen muistikortille. Tietokannan hallinta tapahtuu *QualiDatabaseHelper*-luokasta. Muu sovellus pääsee tietokantatoiminnallisuuksiin käsiksi luokan *SurveyStoreUtil* kautta. Myös tietokantataulujen abstraktointi tietokantaluokiksi on toteutettu *SurveyStoreUtil* luokassa. Binääritiedostojen tallentaminen muistikortille tapahtuu *ExternalStorageUtil*-luokan tarjoamien toiminnallisuuksien kautta. Taulutietokonesovellukseen liittyvät tietokantaluokat on eritelty tarkemmin kuvassa 11. Suurempi kokoinen kuva tietokantaluokista löytyy liitteestä 3.

Toinen käyttötapaus on tarkoitettu paikannustoiminnallisuuden testaamiseen käytännössä. Käyttötapaus koostuu kahdesta osasta, joita ovat *paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ja *paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen*. *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* tarkoittaa toimintalogiikkaa, jolla kyselynomistaja luo paikkaan sidottuja kyselysivuja. *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* tapahtuu Quali-palvelinsovelluksen toteutetun käyttöliittymän kautta. *Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen* kuvaa puolestaan Quali-taulutietokonesovellukseen toteutettavan kyselyjen vastaamiseen tarkoitettua toimintalogiikkaa.

Lähtökohtana paikkaan sidottujen kyselysivujen toteutukselle on, että toiminnallisuus ei ole riippuvainen käytetystä paikannusteknologiasta. Integroidun sisätilapaikkannusratkaisun lisäksi *paikkaan sidottuja kyselysivuja* voidaan käyttää esimerkiksi ulkotiloissa GPS-paikkannuksen avulla.

Sisätilapaikkannuksen käyttöönotto

Sisätilapaikkannuksen käyttöönotto tarkoittaa Quali-kyselytutkimusjärjestelmään toteutettavaa toiminnallisuutta, jolla kyselynomistaja pystyy ottamaan käyttöön Qubulus-sisätilapaikkannusratkaisun kyselyn kohteena olevassa tilassa. Käyttötapauksen ideana on tarjota Quali-palvelinsovellukseen käyttöliittymä, jolla kyselynomistaja pystyy lisäämään haluamaansa kyselyyn paikannettavan tilan pohjapiirroksen, pohjapiirroksen kulmakoordinaatit ja Qubulus-paikkannusratkaisuun liittyvän paikannustunnuksen. ”*Sisätilapaikkannuksen käyttöönotto*”-toiminnallisuuden sanallinen käyttötapauskuvaus on esitetty tutkimuksen liitteessä 6.

Paikkaan sidotut kyselysivut

Paikkaan sidotuilla kyselysivuilla tarkoitetaan Quali-kyselytutkimusjärjestelmällä tehtyyn kyselyyn liittyviä sivuja, jotka liittyvät olennaisesti johonkin fyysiseen paikkaan. Yksi paikkaan sidottu kyselysivu koostuu kyselysivusta ja sen sisältämistä kysymyksistä sekä kyselysivun fyysisestä sijainnista. Paikkaan sidotut kyselysivut tulevat kyselynvastaajan nähtäville ainoastaan silloin, kun hän on paikkaan sidotun kyselysivun sijainnissa.

Tämän tutkimuksen yhteydessä karttasivuilla tarkoitetaan kyselyn sellaista sivua, joka näyttää kyselynvastaajan ja paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnin kartalla. Kartta-

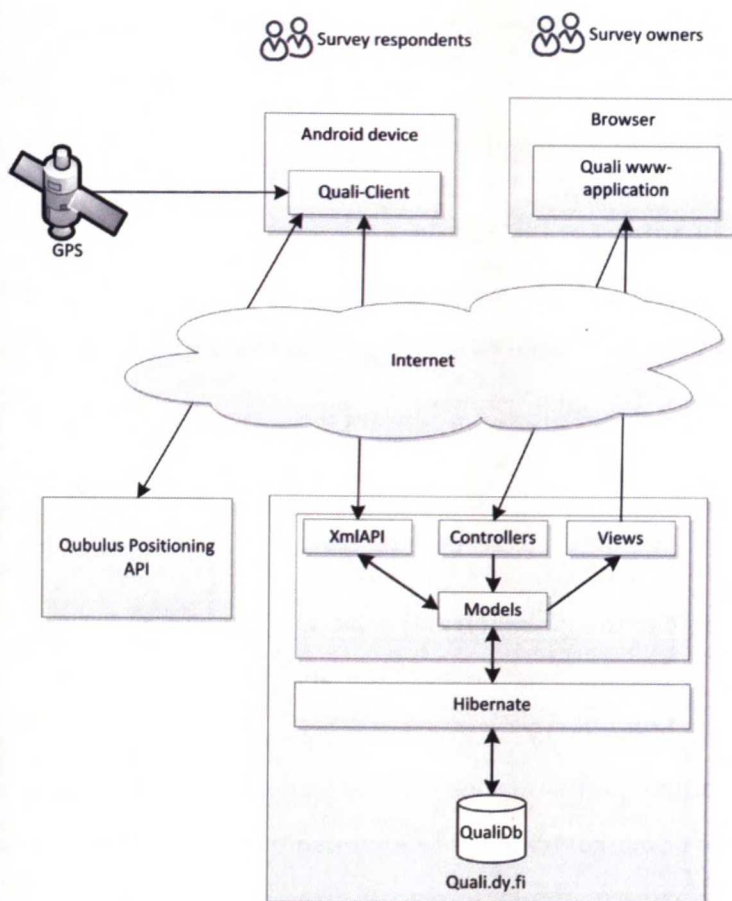
sivun ideana on auttaa kyselynvastaajaa löytämään paikkaan sidotut kyselysivut. Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen ja niihin vastaaminen on esitetty sanallisten käyttötapauksen muodossa tutkimuksen liitteissä 7 ja 8.

4.2.3 Integraation tuomat muutokset järjestelmään

Tässä alaluvussa on kuvattu sisätilapaikannusratkaisun yhdistämisen myötä Quali-järjestelmään tehdyt muutokset. Tehdyt muutokset liittyvät suurilta osin taulutietokoneen paikantamiseen sekä paikkatiedon tallentamiseen ja sen visualisoimiseen karttakomponenttien avulla.

Integraation yleiskuvaus

Tämän tutkimuksen yhteydessä toteutetun paikannusratkaisun integraation myötä Quali-järjestelmään liittyy kaksi uutta osaa. Uusia osia ovat ulkotilapaikannukseen tarkoitettu GPS ja sisätilapaikannukseen tarkoitettu Qubulus Positioning API. GPS-paikannusta käytetään taulutietokoneen sijainnin määrittämiseksi ulkotiloissa, silloin kun sisätiloihin tarkoitettu sormenjälkipaikannus ei ole käytettävissä. Qubulus Positioning API on puolestaan kolmannen osapuolen tarjoama rajapinta, jonka välityksellä suoritetaan taulutietokoneen QPS-paikannus. Kuvassa 12 on havainnollistettu Quali-järjestelmän yleiskuvaus paikannusratkaisun integraation jälkeen.



Kuva 12: Quali-kyselytutkimussovelluksen yleiskuvaus integraation jälkeen.

Muutokset palvelinsovellukseen

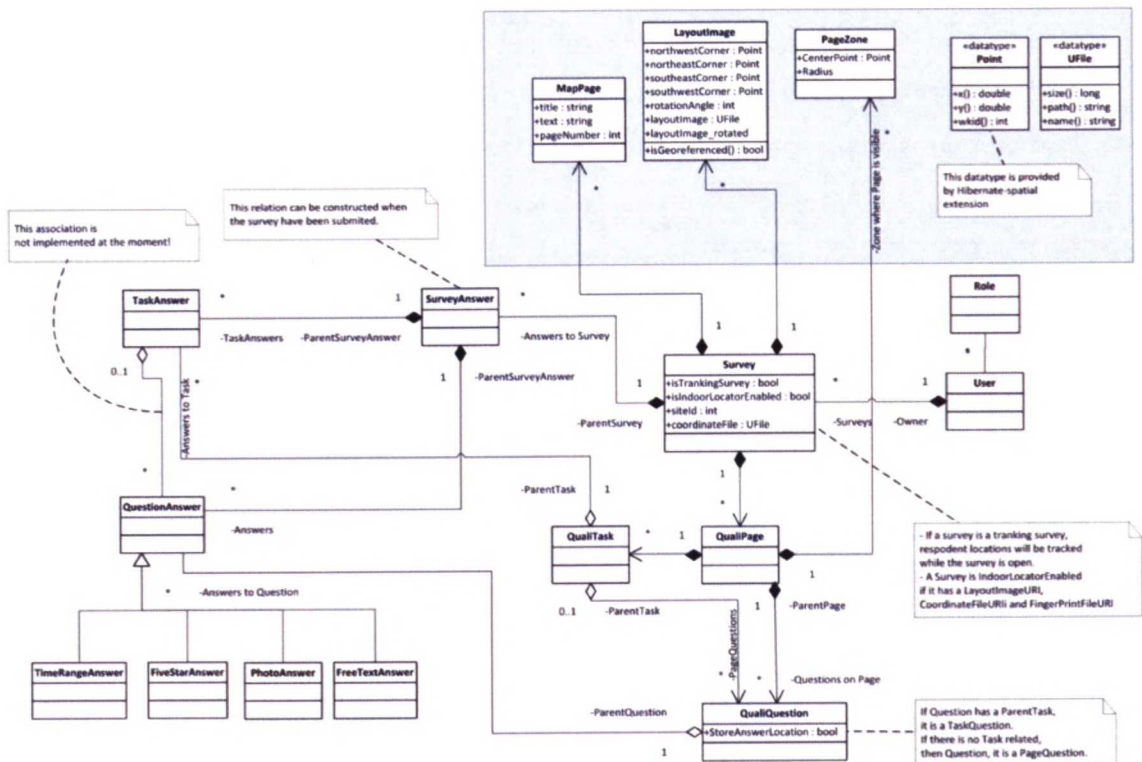
Quali-palvelinsovelluksessa paikannusratkaisun integraation tuomat teknologiamuutokset liittyvät suurilta osin paikkatiedon tallentamiseen ja esittämiseen kartalla. Jotta paikkatiedon tallentaminen olisi mahdollista abstrahoitujen tietokantaluokkien kautta, otettiin palvelinsovelluksessa käyttöön Hibernate Spatial. Hibernate Spatial käyttää geometriamallinaan Java Topologia kirjastoa (Java Topology Suite, JTS), joka on toteutus OGC:n määrittelemälle (Open Geospatial Consortium, OGC) *OpenGIS Simple Features*-standardille. (Hibernate Spatial). Hibernate Spatial toteuttaa siis linkityksen JTS:n tarjoamien geometrialuokkien ja MySQL geometriatietotyyppin välille. Palvelinsovelluksen karttakomponenttien toteutuksessa käytettiin puolestaan Google Maps JavaScript API:n versiota 3.0.

Quali-palvelinsovellukseen tehdyt muutokset on esitetty sovellusarkkitehtuurin osalta kuvassa 13 ja malliluokkien osalta kuvassa 14. Kuva 14 löytyy suurempikokoisena liitteestä 4.

Integraation myötä toteutettiin myös Controller-luokka *LocationFeaturesController* sekä Service-luokka *LocationFeaturesService*. Näistä *LocationFeaturesController* ottaa vastaan toteutettuihin toiminnallisuuksiin liittyvät käskyt sekä muuttaa käskyjen perusteella malli- ja näkymäluokkia. *LocationFeaturesService* luokkaan on puolestaan toteutettu metodit, joiden kautta käytetään paikannusratkaisun integraatioon liittyvää liiketoimintalogiikkaa. Kyseisen luokan kautta suoritetaan esimerkiksi pohjapiirroksen ja koordinaattitiedoston tallentaminen, pohjapiirroksen kääntäminen kohti pohjoista sekä kyselysivuun liittyvän paikan luominen ja tallentaminen.

Palvelinsovellukseen on integraation yhteydessä tehty muutoksia myös sovelluksen muihin luokkiin. Tärkeimmät tällaiset muutokset on tehty *XmlApiService* luokkaan. Kyseiseen luokkaan tehdyt muutokset mahdollistavat taulutietokonesovelluksen ja palvelinsovelluksen välisen kommunikaation myös uusien paikannukseen liittyvien toiminnallisuuksien osalta.

Paikannusratkaisun integraatioon liittyviä uusia malliluokkia ovat *MapPage*, *LayoutImage* ja *PageZone* (kuva 14). Näistä *MapPage* kuvaa kyselyyn liittyvää karttasivua, jossa esitetään sijaintiin liittyvien kyselysivujen paikat kartalla. *LayoutImage* kuvaa kyselyn kohteena olevan rakennuksen mahdollista pohjapiirrosta, joka on tallennettu kyselyyn sisätilapaikannuksen käyttöönoton yhteydessä. Tietokantaluokka *PageZone* kuvaa puolestaan fyysistä aluetta, johon jokin tietty kyselysivu kuuluu.



Kuva 14: Quali-palvelinsovelluksen malliluokat ja niiden väliset relaatiot integraation jälkeen. Uudet luokat on esitetty kuvassa sinisellä taustalla.

Muutokset taulutietokonesovellukseen

Quali-kyselytutkimusjärjestelmän taulutietokonesovellukseen tehdyt sovellusarkkitehtuuria koskevat muutokset on esitetty kuvassa 15. Tietokantaluokkia koskevat muutokset on esitetty puolestaan kuvassa 16. Suurempi kokoiset kuvat löytyvät liitteistä 5 ja 6.

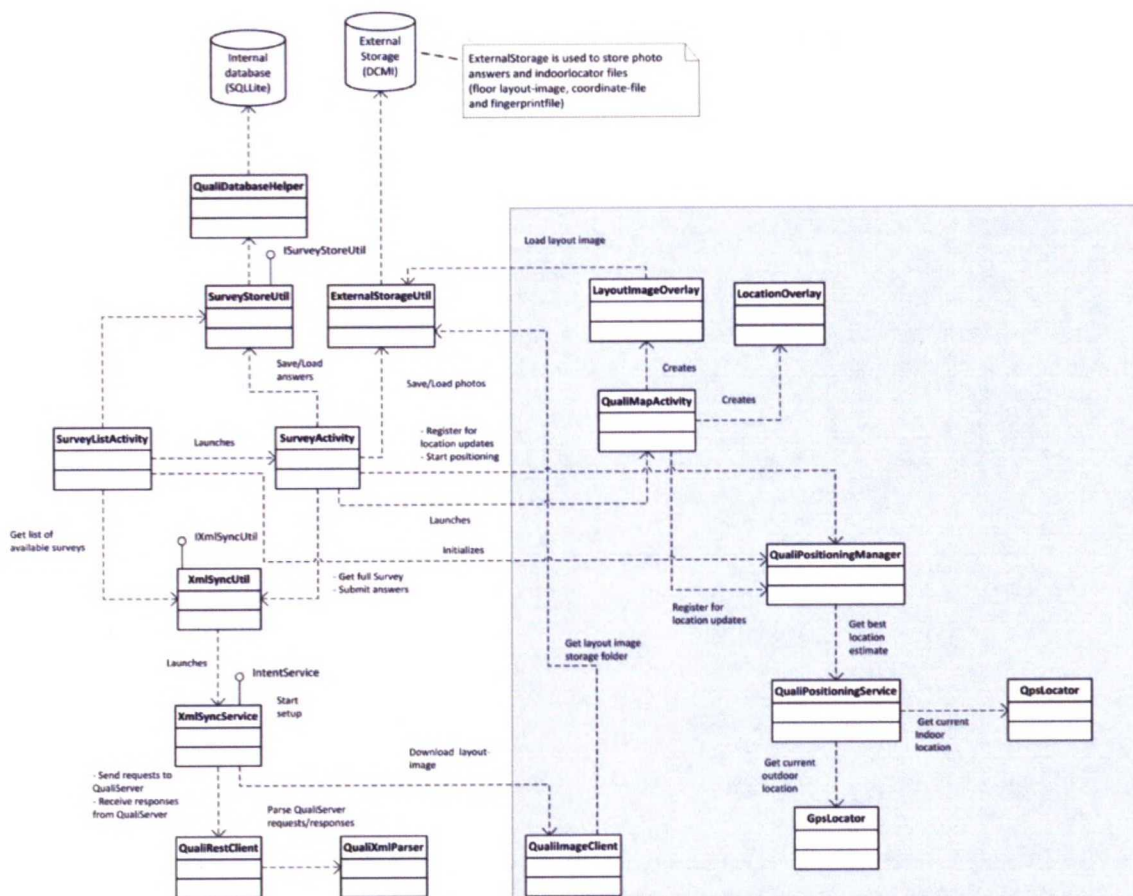
Taulutietokonesovelluksen ja paikannusratkaisun integraation kannalta tärkeimpiä tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettuja luokkia ovat *QualiPositioningManager*, *QualiPositioningService*, *GpsLocator*, *QpsLocator*, *QualiImageClient* ja *QualiMapActivity*. Edellä mainittujen luokkien lisäksi tärkeimpiä muutoksia ovat päivitykset *QualiXmlParser* luokkaan. Näiden muutosten avulla pystytään lukemaan Quali-palvelinsovelluksen integraation myötä päivitettyä XmlApi-rajapintaa.

Taulutietokoneen sijainnin määrittäminen tapahtuu *QualiPositioningManager* luokan kautta. Kyseinen luokka on toteutettu siten, että mikä tahansa sovelluksen osa voi käynnistää sijaintipäivitykset ja rekisteröityä sijainninmuutospäivitysten kuuntelijaksi. *QualiPositioningService* on Android sovelluskehityskirjaston luokasta *Service* periytetty luokka. *QualiPositioningService* käynnistää eri säikeissä toimivat luokat *GpsLocator* ja *QpsLocator*. *GpsLocator* määrittää tasaisin väliajoin taulutietokoneen sijainnin GPS-

paikannusta hyödyntäen. *QpsLocator* määrittää puolestaan taulutietokone sovelluksen sijainnin tasaisin väliajoin sormenjälkipaikannusta hyödyntäen. *QualiPositioningService* luokka kysyy *GpsLocator*- ja *QpsLocator* luokilta tasaisin välein arvion laitteen sijainnista ja valitsee näistä paremman tarkkuusarvion omaavan sijainnin laitteen nykyiseksi sijaintiarvioksi. Arvio laitteen nykyisestä sijainnista välitetään edelleen *QualiPositioningManager*-luokalle, joka kertoo sen puolestaan edelleen sijaintipäivityksille rekisteröityneille luokille.

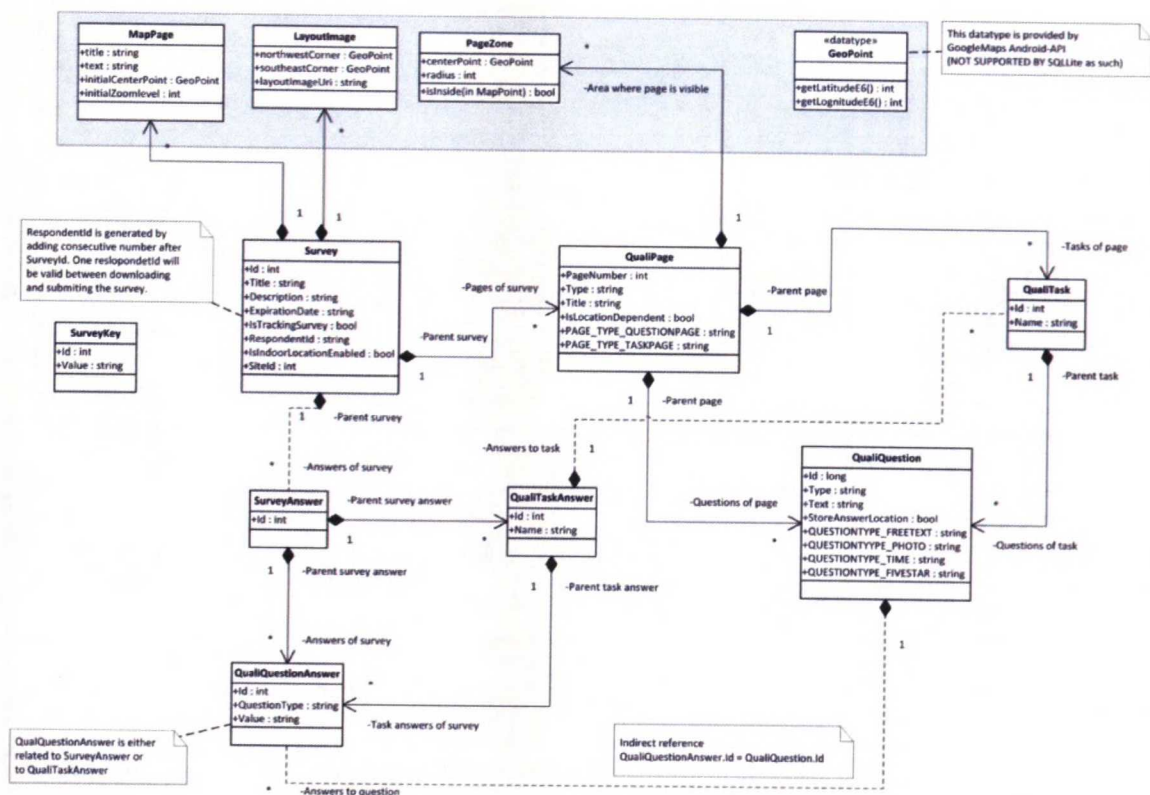
QualiImageClient-luokkaan on toteutettu toiminnallisuus pohjapiirroksen lataamiseksi palvelinsovelluksesta taulutietokoneelle. Kyseistä luokkaa käytetään *XmlSyncService*-luokan kautta ladattaessa kyselyä palvelimelta taulutietokonesovellukseen.

QualiMapActivity luokka toteuttaa paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnin näyttävän karttanäkymän. Karttanäkymä on toteutettu Google Maps Android kirjaston tarjoamien toiminnallisuuksien avulla. Karttanäkymään liittyvät myös luokat *LayoutImageOverlay*, *LocationOverlay* ja *PageZoneOverlay*, jotka vastaavat pohjapiirroksen, laitteen sijainnin ja paikkaan sidottujen kyselysivujen visuaalisesta esittämisestä kartalla.



Kuva 15: Quali-taulutietokonesovelluksen arkkitehtuurinkuvaus integraation jälkeen. Uudet luokat on esitetty kuvassa sinisellä pohjalla.

Taulutietokonesovellukseen toteutettuja uusia tietokantaluokkia ovat *MapPage*, *LayoutImage* ja *PageZone*. *MapPage*-luokka kuvaa kyselyyn liittyvää karttasivua. *LayoutImage* kuvaa kyselyyn liittyvää pohjapiirrosta. *PageZone* kuvaa puolestaan geograafista aluetta, johon jokin kyselysivu liittyy. Taulutietokonesovelluksessa käytössä olevan SQLite-tietokannan tietotyyppeihin eivät kuulu geometriaobjektit (SQLite). Tästä syystä geometriset pisteet on tallennettu tietokantaan WGS84-muodossa omiin leveys- ja pituuspiirisarakkeisiin kokonaislukutyyppeisinä mikroasteina.

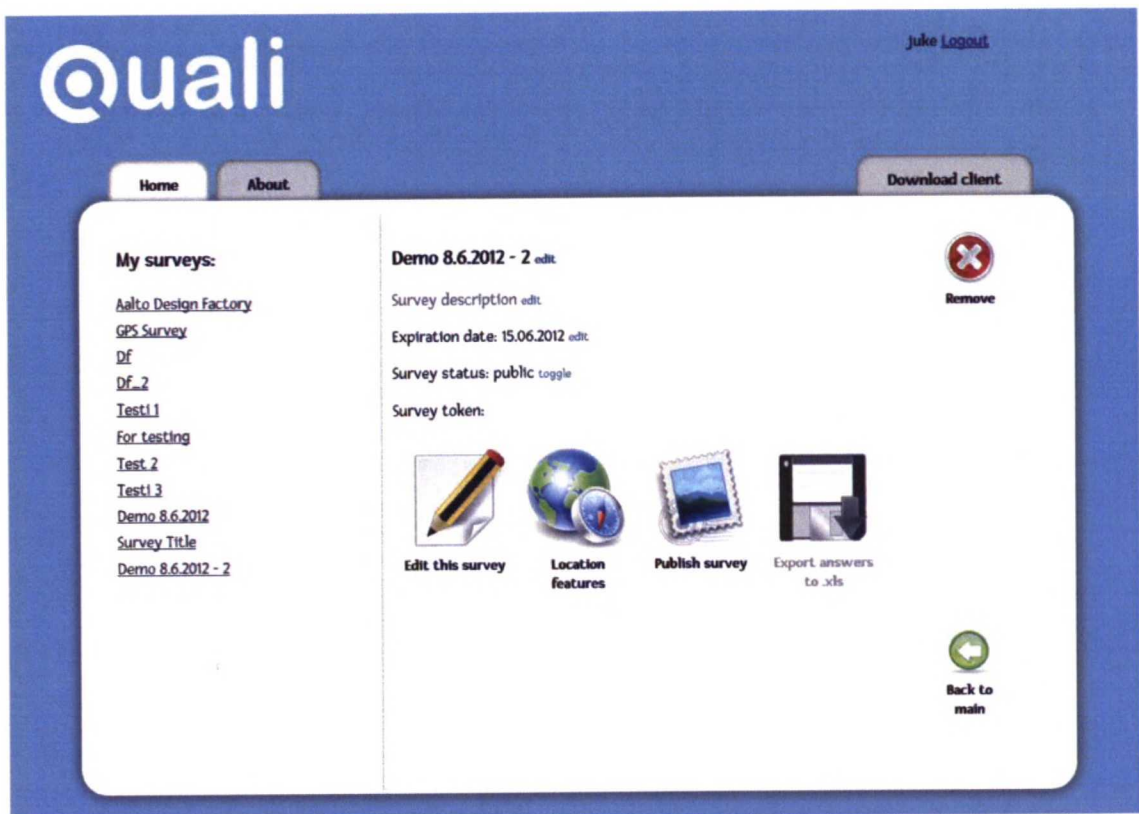


Kuva 16: Quali-taulutietokonesovelluksen tietokantaluokat integraation jälkeen. Uudet tietokantaluokat on esitetty kuvassa sinisellä pohjalla.

4.2.4 Käyttötapausten käyttöliittymätoteutukset

Tässä alaluvussa on kuvattu tutkimuksen kohdassa 4.2.2 määritettyjen käyttötapausten käyttöliittymätoteutukset. Käyttöliittymätoteutukset on kuvattu käyttötapauksille *Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto*, *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ja *Paikkaan sidottuihin kyselyihin vastaaminen*.

Toteutetuista käyttötapauksista *Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto* ja *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ovat toteutettu osaksi Quali-palvelinsovellusta. Molempiin käyttötapauksiin liittyvät toiminnallisuudet on ryhmitelty yhdeksi kokonaisuudeksi. Quali-palvelinsovelluksen päänäköymästä toteutettuihin toiminnallisuuksiin pääsee käsiksi ”Location Features”-painikkeen kautta. Quali-palvelinsovelluksen integraation jälkeistä päänäköymää on havainnollistettu kuvassa 17.

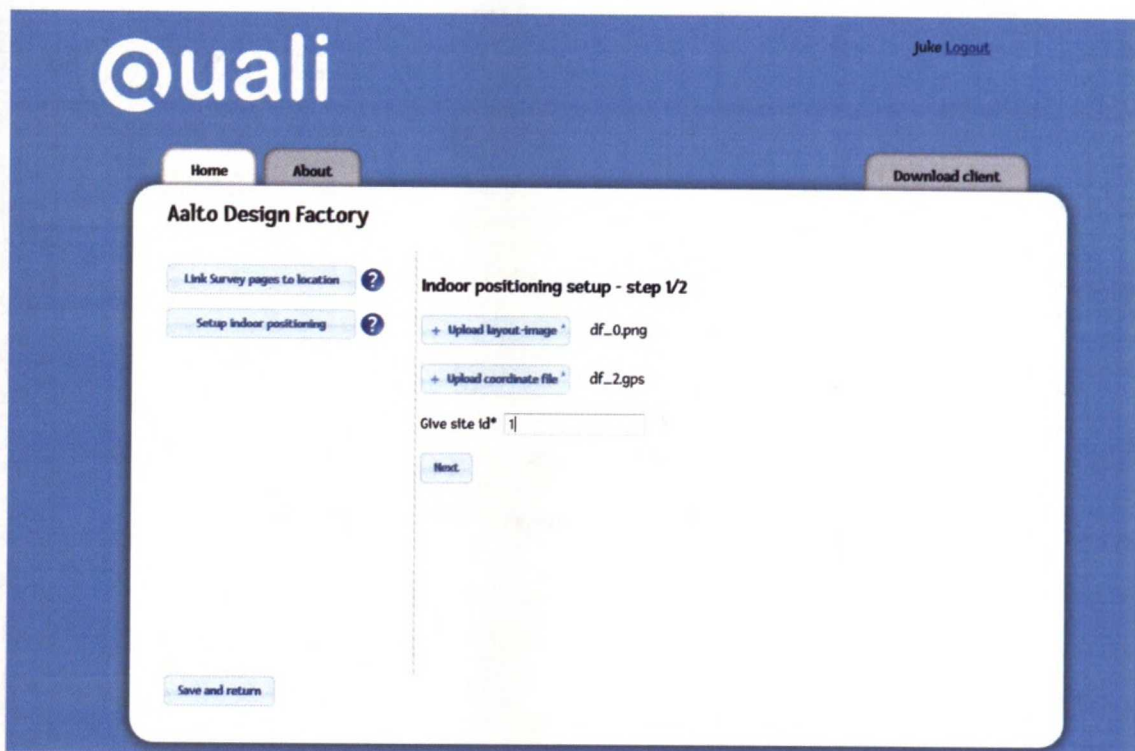


Kuva 17: Quali-palvelinsovelluksen päänäköymä integraation jälkeen.

Sisätilapaikannuksen käyttöönotto

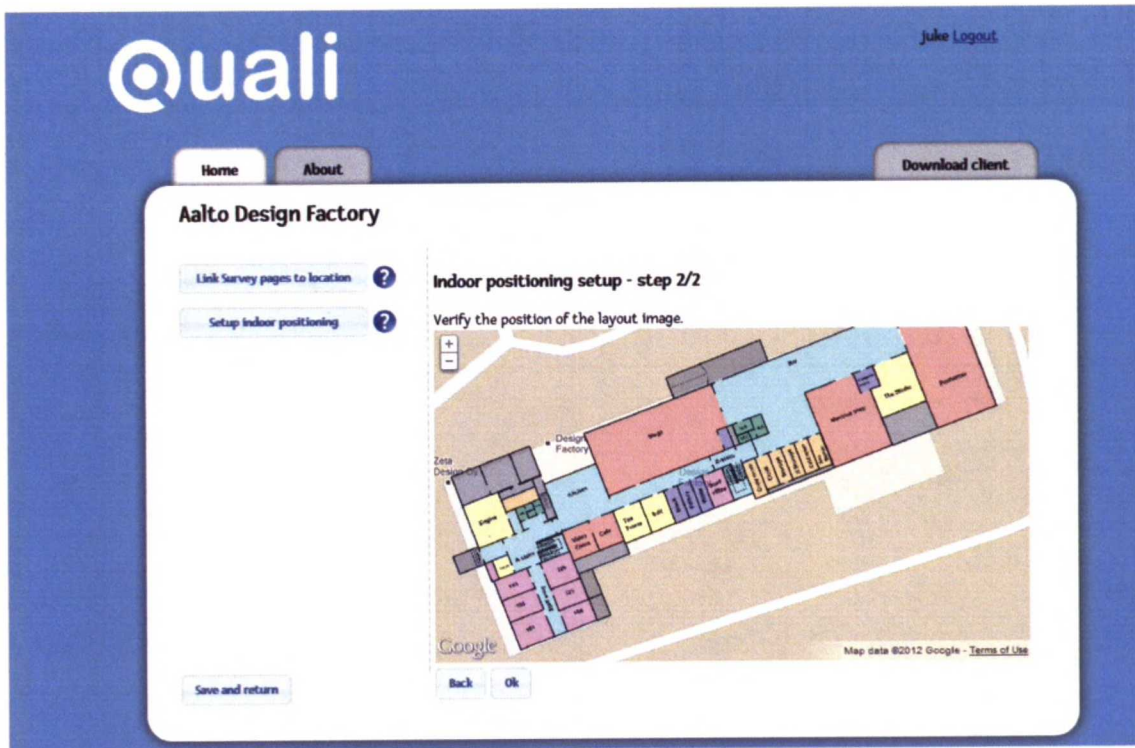
Kuvissa 18 ja 19 on esitetty käyttötapauksen *Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto* käyttöliittymätoteutus Quali-palvelinsovelluksesta otettujen kuvaruutukaappausten avulla. Kuvassa 18 esitettyyn käyttöliittymätilaan on päästy painamalla kuvassa 7 nähtävissä olevasta päänäköymästä "Location Features"-painiketta ja valitsemalla kuvassa 18 näkyvästä vasemmasta valikosta "Setup indoor positioning".

Kuvassa 18 on esitetty sisätilapaikannusratkaisun käyttöönoton ensimmäinen vaihe. Käyttöönoton ensimmäisessä vaiheessa käyttäjä lataa omalta tietokoneeltaan kyselyn kohteena olevan rakennuksen pohjapiirroksen, pohjapiirroksen kulmakoordinaatit sisältävän koordinaattitiedoston ja antaa kohteen paikannustunnuksen. Kun kyseiset tiedostot on ladattu, painaa käyttäjä "Next"-painiketta, jolloin siirrytään paikannusratkaisun käyttöönoton seuraavaan vaiheeseen.



Kuva 18: Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönoton ensimmäinen vaihe – tiedostojen lataus.

Kuvassa 19 on esitetty sisätilapaikannusratkaisun käyttöönoton toinen vaihe. Ennen tähän näkymään siirtymistä, järjestelmä on kääntänyt käyttäjän lataaman pohjapiirroksen siten, että kuvan ylälaita osoittaa kohti pohjoista. Tässä vaiheessa käyttäjä tarkastaa karttanäkymän päälle asetetun pohjapiirroskuvan avulla, että hänen edellisessä vaiheessa antamat kulmakoordinaatit ovat oikeat. Jos ladatut kulmakoordinaatit tai pohjapiirros eivät ole oikeat, käyttäjä voi palata edelliseen näkymään painamalla ”Back”-painiketta. Jos pohjapiirros on oikealla paikallaan, painetaan ”Ok”-painiketta, jonka jälkeen järjestelmä ilmoittaa, että paikannusratkaisu on otettu käyttöön onnistuneesti.



Kuva 19. Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönoton toinen vaihe – kulmakoordinaattien tarkistaminen.

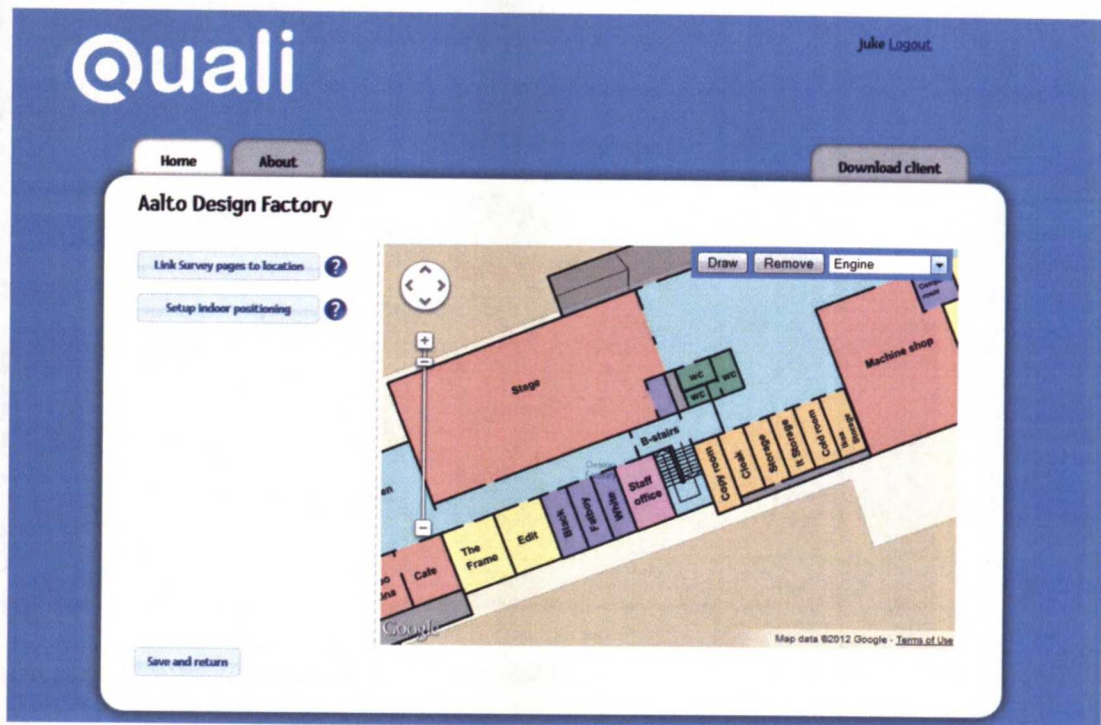
Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen

Kuvissa 20 – 22 on esitetty käyttötapaukseen *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* liittyvät käyttöliittymätoteutukset. Kuvissa 20 ja 21 on havainnollistettu kyselysivun lisäämistä kartalle. Kuten sisätilapaikannusratkaisun käyttöönoton kohdalla, myös kuvassa 20 esitettyyn käyttöliittymätilaan on päästy painamalla kuvan 17 päänäkylässä painiketta *"Location Features"*. Kuvassa 22 esitetty karttasivun lisääminen tapahtuu, muiden kyselysivujen lisäämisen tavoin, painamalla päänäkylässä *"Edit this survey"*-painiketta.

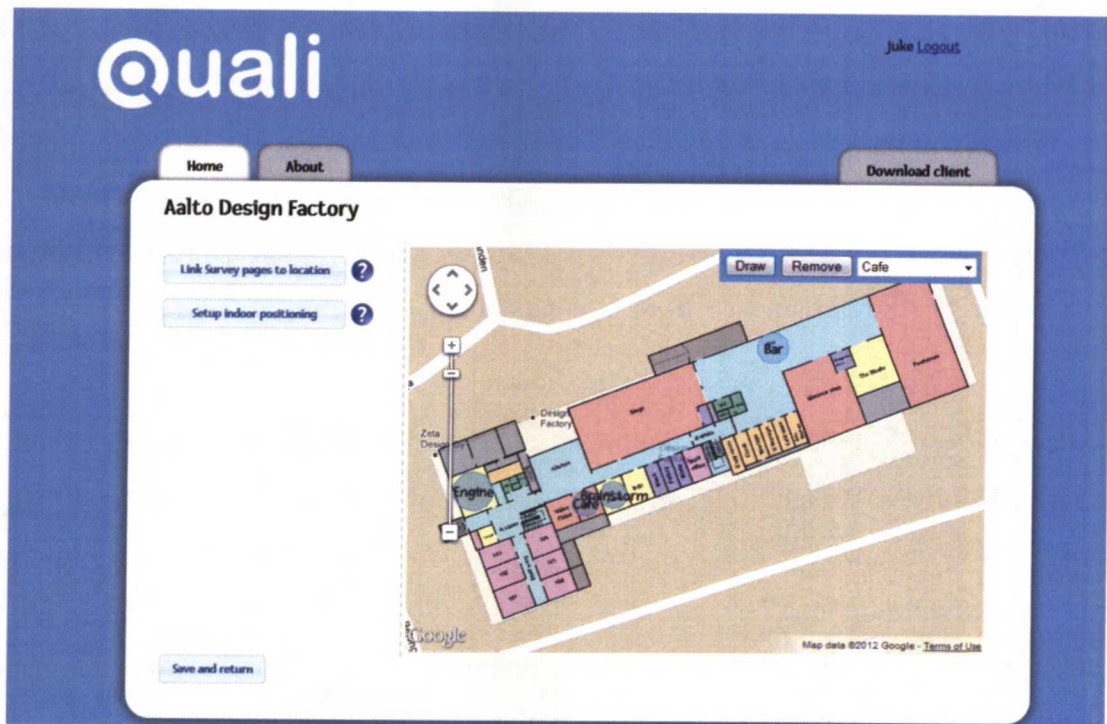
Sijaintiin liitettyjen kyselysivujen luominen alkaa aloitusnäkymästä, joka on esitetty kuvassa 20. Kuvassa 20 näkyvän kartan oikeassa yläkulmassa on alasvetovalikko, jossa on lista kyselyyn luoduista kyselysivuista. Alasvetovalikosta valittu kyselysivu kertoo mille kyselysivulle sijaintia ollaan lisäämässä. Alasvetovalikon vieressä ovat napit, joista toisella aloitetaan kyselysivun paikan piirtäminen. Toisella napilla on puolestaan mahdollista poistaa kyselysivun sijaintiriippuvuus.

Kyselysivun paikka piirretään kartalle ympyrän muotoisena alueena. Kun kyselysivun piirtäminen on aloitettu napin painalluksesta, lisää ensimmäinen klikkaus karttaan ym-

pyrän keskipisteen ja toinen klikkaus ympyrän kehäpisteen. Kuvassa 21 on havainnollistettu karttanäkymää kyselysivujen lisäysten jälkeen.

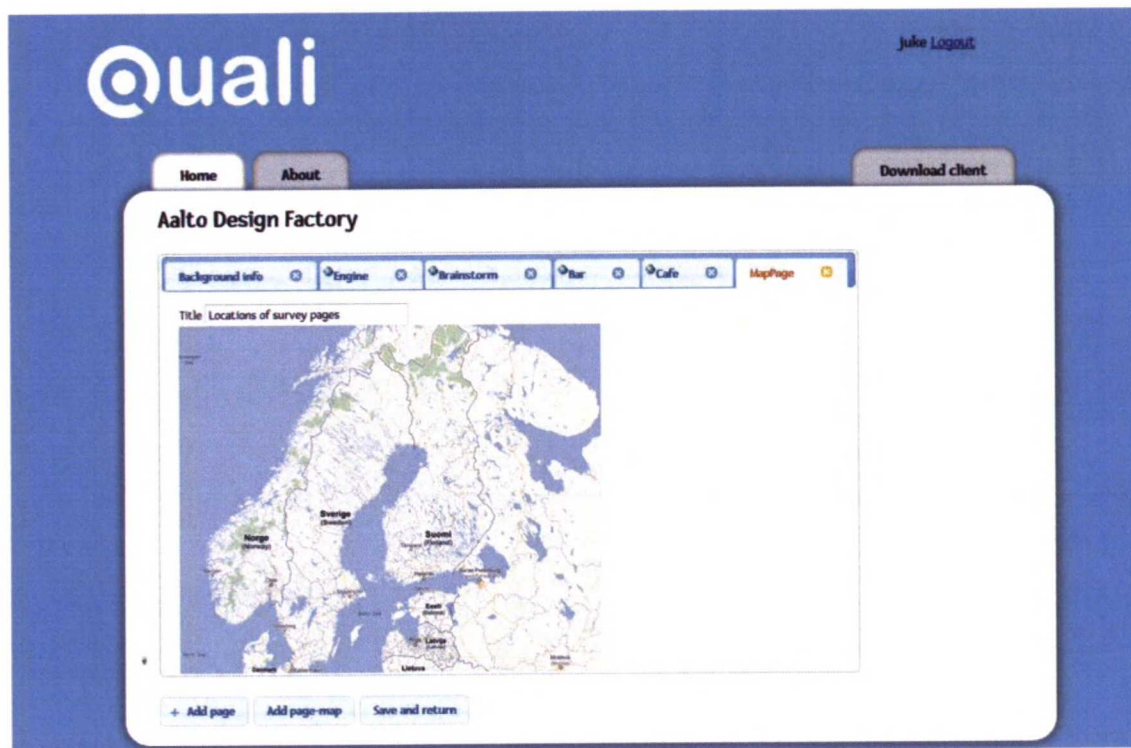


Kuva 20: Paikkaan sidottujen kyselysivujen luomiseen tarkoitettu käyttöliittymä.



Kuva 21: Paikkaan sidottujen kyselysivujen luomiseen tarkoitettu käyttöliittymä. Paikkaan sidotut kyselysivut näkyvät kartalla sinisinä ympyröinä.

Karttasivun lisääminen tapahtuu Quali-palvelinsovelluksen kyselysivujen lisäämiseen ja editointiin tarkoitetun näkymän kautta. Kuvassa 22 on havainnollistettu tätä näkymää. Karttasivun lisääminen tapahtuu näkymän alalaidassa olevan ”Add page map” – napin avulla.



Kuva 22: Kyselysivujen editointiin ja muokkaamiseen tarkoitettu käyttöliittymätoteutus. Karttasivun lisääminen tapahtuu ”Add page-map”-napin avulla.

Kuvassa 22 kyselyyn lisätyt sivut näkyvät sinisinä palkkeina. Paikkaan liitettyjen kyselysivujen nimen vasemmassa yläkulmassa on maapallon kuva. Kyseinen symboli kertoo kyselynomistajalle, että kyseinen sivu on sidottu paikkaan. Tällöin kyseinen kyselysivu ei ole näkyvissä kyselynvastaajalle ennen kuin hän on käynyt taulutietokoneen kanssa kyseiselle sivulle määritellyssä sijainnissa.

Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen

Kuvassa 23 on esitetty käyttötapaukseen *Paikkaan sidottuihin kyselyihin vastaaminen* liittyvää Quali-tilutietokonesovellukseen toteutettua karttanäkymää. Taulutietokoneen karttanäkymässä esitetään visuaalisesti paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnit ja paras arvio laitteen sen hetkisestä sijainnista. Jos kyselynomistaja on suorittanut sisätilapaikannuksen käyttöönoton, näytetään kartan päällä myös kyselynomistajan lataama

rakennuksen pohjapiirros. Kun kyselynvastaaja saapuu taulutietokoneen kanssa paikkaan sidotun kyselysivun alueelle, avautuu tämä kyseinen kyselysivu näytölle.



Kuva 23: Quali-taulutietokonesovellukseen toteutettu karttanäkymä. Löydetyt kyselysivut näkyvät kartalla sinisinä ympyröinä. Jos käyttäjä ei ole löytänyt kyselysivua, on ympyrän väri punainen.

4.3 Käyttäjätestaus

Tässä alaluvussa on kuvattu tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettujen käyttötapauksien *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ja *Paikkaan sidottuihin kyselyihin vastaaminen* käyttäjätestaus. Alaluvussa 4.3.1 on kuvattu käyttäjätesteissä käytetyt testausmenetelmät yleisellä tasolla. Seuraava alaluku 4.3.2 pitää sisällään testien käytännötoteutusten kuvaukset. Käyttäjätestien tulokset ja mahdolliset korjausehdotukset on kuvattu alaluvussa 4.3.3.

4.3.1 Menetelmä

Tämän tutkimuksen yhteydessä toteutetun käyttäjätestauksen tavoitteena oli evaluoida toteutettujen toiminnallisuuksien käytettävyys ja testata paikannusratkaisua toteutetun käyttötapauksen kannalta. Käytettävyttä pyrittiin arvioimaan epäformaalin, kognitiivista läpikäyntiä ja ominaisuus tarkastusta (Nielsen 1994) yhdistelevän, menetelmän avulla.

Käytetyssä menetelmässä käyttäjälle annettiin suoritettavaksi lista tehtäviä, joiden suorittamiseksi tarvittiin tutkimuksen yhteydessä toteutettuja toiminnallisuuksia. Testikäyttäjän tuli suorittaa tehtävät ilman ulkopuolista avustusta. Testikäyttäjää kehoitettiin ajattelemaan ääneen testauksen aikana. Testit nauhoitettiin äänityslaitteen avulla. Käytettävyydestien tuloksena saadut korjausehdotukset perustuvat testikäyttäjän toimintaan testin aikana ja testiin jälkeen käytyihin keskusteluihin.

Paikannusratkaisun testauksessa pääasiallisena tavoitteena oli testata paikannusratkaisun toimivuutta toteutetun käyttötapauksen kannalta. Paikannusratkaisun testaustmenetelmänä käytettiin epäformaalia menetelmää, jonka tulokset pohjautuivat testikäyttäjän toiminnan ja paikannuksen toimivuuden havainnointiin sekä testikäyttäjän kanssa testin jälkeen käytyihin keskusteluihin.

4.3.2 Toteutus

Käyttäjätestauksessa tehtiin kaksi erilaista testiä. Testit kohdistuivat kahteen tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettuun käyttötapaukseen. Käyttäjätestauksessa testatut käyttötapaukset olivat *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ja *Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen*. Ensimmäinen käyttäjätesti kohdistui käyttötapaukseen *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* ja sen pääasiallisena tavoitteena oli tutkia toteutetun käyttöliittymäratkaisun käytettävyyttä. Toinen testi koostui kahdesta osasta ja se kohdistui käyttötapaukseen *Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen*. Testin tarkoituksena oli tutkia tämän tutkimuksen yhteydessä käyttöönotettujen paikannusratkaisujen (GPS ja QPS) toimivuutta testaukseen valitun käyttötapauksen kannalta. Testin ensimmäisessä osassa testattavana paikannusmenetelmänä oli GPS. Toisessa osassa testattiin puolestaan QPS-sisätilapaikannusta.

Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen

Ensimmäisessä käyttäjätestissä testattiin käyttötapauksen *Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen* käytettävyyttä. Testikäyttäjälle annettiin sanallisesti viisi tehtävää, jotka hänen tuli suorittaa ilman ulkopuolista avustusta. Ennen testin aloittamista testikäyttäjää ohjeistettiin ajattelemaan ääneen. Käyttäjätestin litteroitu nauhoite löytyy tämän tutkimuksen liitteestä 12.

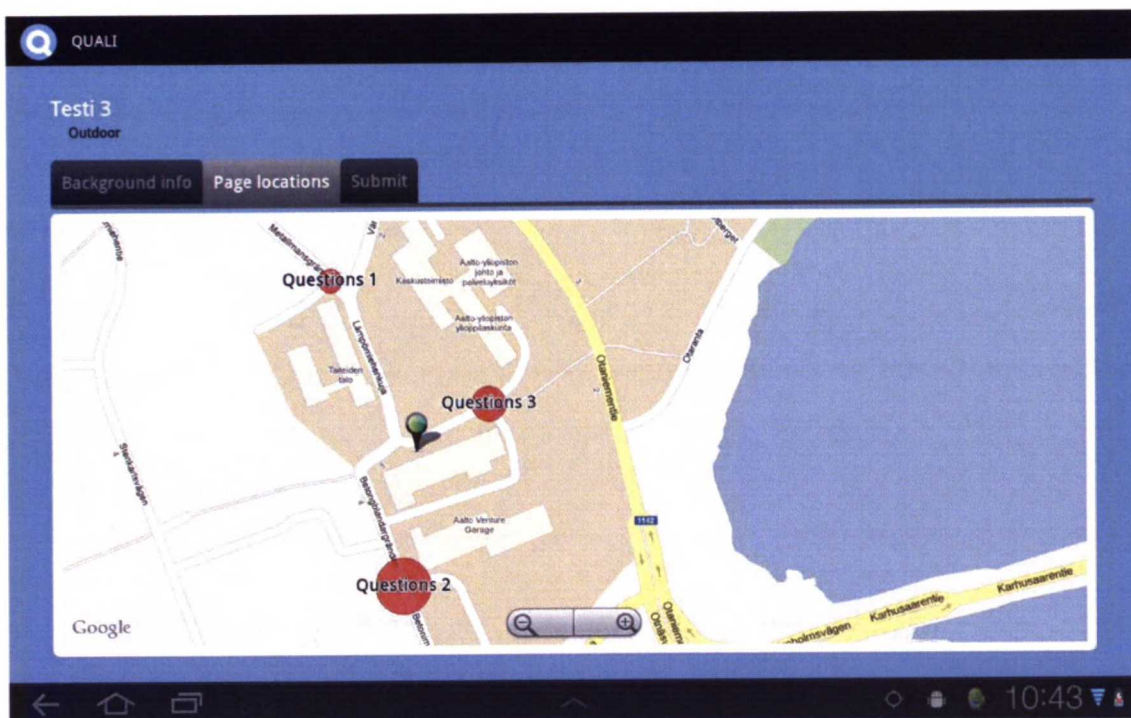
Ennen käytettävyydestin aloittamista Quali selainsovellukseen luotiin valmiiksi uusi kysely, joka avattiin valmiiksi. Kyselylle suoritettiin myös valmiiksi sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto. Tehtävät, jotka annettiin testikäyttäjän suoritettavaksi, on listattu alla.

1. Luo kyselysivu, joka liittyy Aalto Design Factory:n kahvioon.
2. Luo kyselysivu, joka liittyy koko Otaniemen kampusalueeseen.
3. Vaihda kahviota koskevan kyselysivun nimeksi ”Stage” ja vaihda kyseinen kyselysivu koskemaan Aalto Design Factory:n Stage tilaa.
4. Poista sijaintiriippuvuus koko Otaniemen kampusaluetta koskevasta kyselysivusta.
5. Lisää kyselyyn karttasivu, joka näyttää paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnit kartalla.

Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen

Toisessa käyttäjätestissä testattiin käyttötapausta *Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen*. Testi koostui kahdesta erillisestä osasta. Ensimmäisessä osassa kaikki paikkaan sidotut kyselysivut sijaitsivat ulkotiloissa ja paikannus tapahtui taulutietokoneen GPS-vastaanotinta hyödyntäen. Toisessa osassa kaikki paikkaan sidotut kyselysivut sijaitsivat sisätiloissa. Sisätiloina toimivat Aalto Design Factory:n tilat ja paikannusmenetelmänä käytettiin kyselytutkimussovellukseen tämän tutkimuksen yhteydessä integroitua sormenjälkipaikannukseen perustuvaa QPS-sisätilapaikannusratkaisua.

Testin molemmat osat toteutettiin samalla tavalla; Testikäyttäjälle annettiin taulutietokone, johon oli ladattu ja avattu valmiiksi testauksen kohteena oleva kysely. Tämän jälkeen testikäyttäjää pyydettiin vastaamaan kyselyn sivuihin. Testikäyttäjän tuli siis hyödyntää kyselyyn liitettyä karttasivua löytääkseen kyselyyn kuuluvat paikkaan sidotut kyselysivut. Testitapausten karttasivut on esitetty kuvissa 24 ja 25.



Kuva 24: Taulutietokoneen karttanäkymä testin ensimmäisessä osassa.



Kuva 25: Taulutietokoneen karttanäkymä testin toisessa osassa.

4.3.3 Tulokset

Tässä alaluvussa käsitellään käyttäjätesteistä saadut tulokset. Tulostentarkastelun lisäksi löytyneille ongelmille on pyritty esittämään korjausehdotukset.

Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen

Ensimmäisessä käyttäjätestauksessa testikäyttäjä onnistui suorittamaan kaikki annetut tehtävät omatoimisesti. Vaikka testikäyttäjä onnistui tekemään kaikki tehtävät, havaittiin käyttäjätestin yhteydessä kaksi olennaista käytettävyysongelmaa. Korjaamalla nämä kyseiset ongelmat, on mahdollista parantaa käyttöliittymän opittavuutta ja tehtävien suorittamisen tehokkuutta.

Ensimmäinen käytettävyysongelma liittyi eri toimintojen ryhmittelyyn käyttöliittymässä. Tällä hetkellä käyttöliittymä on toteutettu siten, että kaikki sisätilapaikannuksen käyttöönotto ja sijaintiin sidottujen kyselysivujen lisääminen tapahtuvat ”*Location Features*”-painikkeen kautta. Kyselyn muokkaamisessa käytettävät toiminnallisuudet, kuten kyselysivujen ja kysymysten lisääminen kyselyyn tapahtuu puolestaan ”*Edit Survey*” valikon kautta (kuva 17). Käyttäjätestissä havaittiin kuitenkin, että edellä kuvatus kaltaisesta ryhmittelystä aiheutuu käyttäjälle turhia työvaiheita kyselyn luonnin yhteydessä. Testissä havaittiin, että testikäyttäjä joutui navigoitumaan editointitilan ja paikkatietotilan välillä useaan otteeseen. Testissä havaittiin myös, että käyttäjällä oli vaikeuksia löytää kyselysivujen paikkaan liittämiseen tarkoitettu työympäristö. Lähes poikkeuksetta testikäyttäjä avasi aina ensimmäisenä ”*Edit Survey*”-painikkeen kautta kyselyn editointitilan.

Käytettävyytestissä havaittiin myös, että kyselysivujen sijainnin esittämiseen tarkoitettu karttasivu aiheutti testikäyttäjälle hämmennystä. Testin ensimmäisessä tehtävässä testikäyttäjä yritti luoda sijaintiin liitettyä kyselysivua karttasivun kautta. Karttasivussa hämmennystä aiheutti myös se, että kyselyyn lisättyä karttasivua kuvattiin käyttöliittymässä staattisella kartan kuvalla (kuva 22), jota ei ollut mahdollista zoomata tai liikuttaa normaalin karttanäkymän tavoin. Myös se, että sijaintiin liitettyjä kyselysivuja ei näytetty kartan päällä, aiheutti hämmennystä. Testikäyttäjä ei ollut varma tulisivatko kyselysivut näkyviin taulutietokonesovelluksessa.

Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen

Käyttäjätestauksen toisen osan tavoitteena oli testata GPS- ja QPS-paikannuksen toimivuutta ja käytettävyyttä tämän tutkimuksen yhteydessä toteutetun käyttötapauksen *Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen* kannalta. Testi toteutettiin kaksiosaisena siten, että ensimmäisessä osassa kyselysivut sijaitsivat ulkotiloissa ja testauksen kohteena oli GPS-paikannus. Testin toisessa osassa kyselysivut sijaitsivat sisätiloissa ja testauksen kohteena oli QPS-paikannus.

Tulokset ensimmäisestä testistä olivat hyvät. GPS-paikannus toimi käyttäjätestin mukaan riittävän luotettavasti ja käyttötapauksen kannalta riittävällä tarkkuudella. Testikäyttäjän onnistui löytämään kaikki kolme testauksessa ollutta paikkaan sidottua kyselysivua. Testauksessa havaittiin, että kyselysivujen ja käyttäjän sijainnin esittäminen reaaliaikaisesti kartalla, tukivat sijaintiin sidottujen kyselysivujen löytämistä.

Toisessa testissä tulokset eivät olleet yhtä lupaavia. Ongelmia aiheuttivat sisätilapaikannuksen epäluotettavuus ja vaihteleva tarkkuus. Joissakin osissa testatussa tilassa sisätilapaikannus toimi ongelmitta ja riittävällä, noin 10 metrin tarkkuudella. Suurimmassa osassa paikannettavaa tilaa tarkkuus ei kuitenkaan ollut riittävä. Kohdissa, joissa paikannustarkkuus ei ollut riittävä, taulutietokonesovellus ei pystynyt tunnistamaan, oliko käyttäjä sijaintiin sidotun kyselysivun alueella. Ongelmia aiheutti myös se, että paikannustulokset saattoivat vaihdella äkillisesti eripuolille paikannettavaa tilaa. Tämä vaikeutti etenkin käyttäjän oman sijainnin määrittämistä tilassa. Toteutetussa testissä testikäyttäjä onnistui löytämään ainoastaan kaksi kolmesta kyselysivusta. Löytymättömän kyselysivun kohdalla käyttäjä löysi oikean sijainnin, mutta sisätilapaikannus ei kyennyt määrittämään laitteen sijaintia, eikä kyselysivu tullut käyttäjän näkyville.

4.3.4 Tulosten tarkastelu ja korjausehdotukset

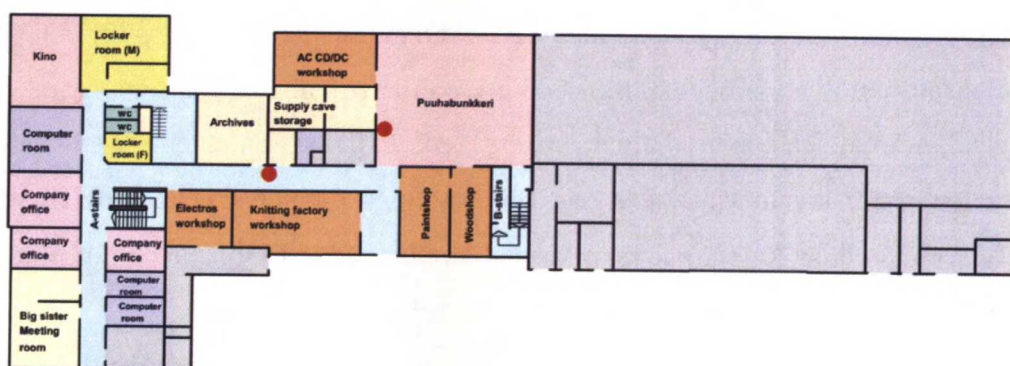
Paikkaan sidottujen kyselysivujen luomisen yhteydessä havaittiin muutamia käytettävyydspuutteita. Edellisessä kappaleessa esitettyjen tulosten perusteella toteutettuun käyttöliittymään ehdotetaan tehtäväksi seuraavia muutoksia:

1. Kyselysivujen sijaintiin linkittämistä varten tehty työympäristö liitetään osaksi kyselyn editointitoiminnallisuuksia.

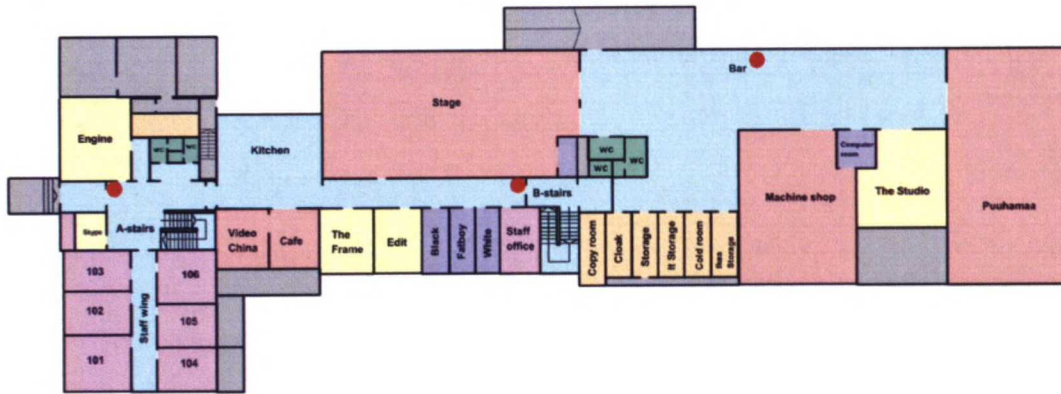
2. Karttasivua kuvastava staattinen kuva muutetaan interaktiiviseksi kartaksi, jota on mahdollisuus zoomata ja, jonka päällä esitetään paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnit.

Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaamista tutkineen käyttäjätestin perusteella havaittiin käytettävyyteen ja toiminnallisuuteen liittyviä ongelmia. Käytettävyyteen liittyvät ongelmat koskivat sekä sormenjälki- että GPS-paikannusta. Toiminnalliset ongelmat liittyivät ainoastaan sisätiloissa tapahtuvaan sormenjälkipaikannukseen. Suurimpana ongelmana oli sisätilapaikannuksen vaihteleva tarkkuus.

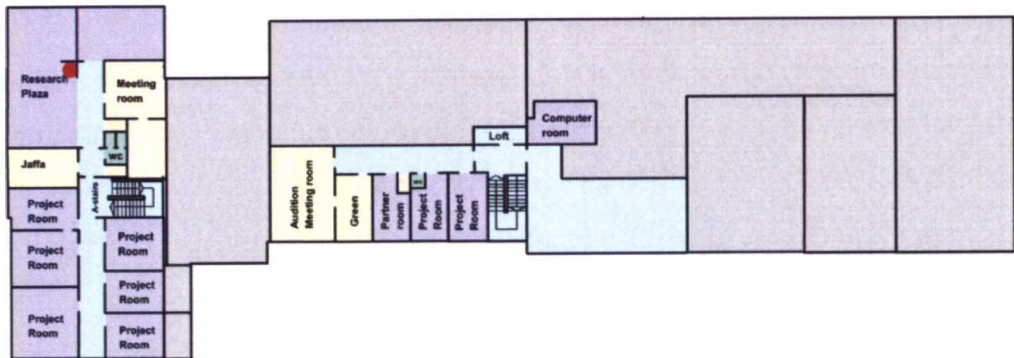
Yksi mahdollisista sisätilapaikannuksen heikkoon toimivuuteen vaikuttaneista syistä voi olla WLAN-tukiasemien riittämätön lukumäärä ja paikannuksen kannalta heikko WLAN-tukiasemien sijoittelu. Kuvissa 26 – 28 on esitetty WLAN-tukiasemien sijainnit paikannetussa tilassa. Kuvassa 26 on tutkimuksen kohteena olleen tilan kellarikerros. Kuvassa 27 on esitetty paikannuksen kohteena ollut maanpinnan tasolla sijaitseva kerros. Kuvassa 28 on puolestaan paikannettavan kerroksen yläpuolella sijaitseva kerros. Kuvassa 29 on havainnollistettu karkeasti alue, jolla sisätilapaikannus toimi riittävällä tarkkuudella.



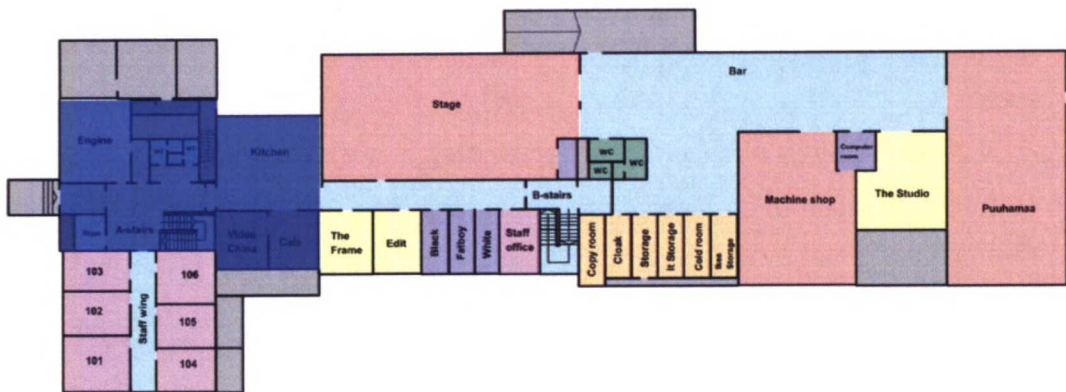
Kuva 26: WLAN-tukiasemien sijainnit kerroksessa -1.



Kuva 27: WLAN-tukiasemien sijainnit paikannuksen kohteena olleessa kerroksessa 0.



Kuva 28: WLAN-tukiasemien sijainnit kerroksessa 1.



Kuva 29: Paikannettava tila. Alue, jossa paikannus toimi riittävällä tarkkuudella on korostettu sinisellä värillä.

Kuvien 26 – 29 perusteella voidaan havaita, että paikannustarkkuus oli riittävä siinä osassa paikannettavaa rakennusta, jossa WLAN-tukiasemien määrä oli kaikki rakennuksen kerrokset huomioiden suurempi. Esitettyjen havaintojen perusteella ei voida kuitenkaan varmuudella todeta syytä sisätilapaikannuksen heikkoon toimintaan.

Syynä sisätilapaikannuksen heikkoon toimintaan voivat olla myös muutokset paikannettavassa ympäristössä. Osassa paikannettavaa tilaa suurien huonekalujen paikkoja oli vaihdettu kartoitusvaiheen ja paikannustestauksen välillä. Yksi syy voi olla myös se, että radiokartan muodostaminen tapahtui ilta-aikaan, jolloin tilan käyttäjä määrät olivat varsin pienet paikannustestauksen tekohetkeen verrattuna.

Myös nauhoitusvaiheessa mahdollisesti tapahtuneet inhimilliset virheet voivat osittain selittää sisätilapaikannuksen heikkoa toimintaa. Nauhoituksessa käytetyssä Gecko-nauhoitustyökalussa sormenjäljen keräämispaikan merkitseminen kartalle tapahtuu nauhoittajan toimesta. Koska keräämispaikan sijainnin arviointi perustuu nauhoittajan tekemiin arvioihin, työvaihe on herkkä nauhoittajan tekemille virheille. Myös se, että kartoituksessa käytetty laite oli eri, kuin paikannustestauksessa käytetty laite voi olla syynä paikannuksen epätarkkuuteen.

Varmaa syytä sisätilapaikannuksen heikolle toimintavarmuudelle ei pystytty tämän tutkimuksen puitteissa osoittamaan. Jotta paikannuksen toimimattomuuteen johtaneet syyt saadaan varmuudella selville ja mahdolliset korjausehdotukset pystytään määrittämään, tarvitaan uusi, kontrolloidummassa testiympäristössä toteutettu testaus. Tällainen testi voi koostua esimerkiksi seuraavista vaiheista:

1. Luodaan testattavaan tilaan WLAN-verkosto, jolla sisätilapaikannus saadaan toimimaan ongelmitta. Tämä on toteutettavissa riittävällä määrällä tasaisesti paikannettavaan tilaan asetettuja WLAN-tukiasemia. Jaetaan sekä fyysinen tila, että sitä kuvaava pohjapiirros tarkkoihin ruutuihin ja suoritetaan tilan kartoitus.
2. Testataan paikannusta: 1) eri laitteella kuin millä nauhoitus on tehty, 2) käytetään samaa laitetta kuin nauhoituksessa.
3. Testataan paikannusta liikuttamalla, lisäämällä ja poistamalla tilan huonekaluja.
4. Vähennetään tukiasemien määrää asteittain ja toistetaan testauksen vaiheet 1 - 3.

Quali-kyselytutkimussovelluksen kannalta edellä esitetyn uuden testausmenettelyn tulos olisi ohjeistus paikannettavalta tilalta vaadituista ominaisuuksista. Toinen ratkaisuvaihtoehto olisi toteuttaa jonkin muun kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisun integraatio järjestelmään. Esimerkiksi inertiasensoreiden ja sormenjälkipaikannuksen yhteiskäyttöön perustuvat paikannusratkaisut voisivat toimia luotettavammin muuttuvissa ja ympäristöltään erilaisissa kyselytutkimuksen kohteissa. Tässä tutkimuksessa esitettyjä ratkaisuperiaatteita voidaan hyödyntää myös jonkin muun kaupallisen paikannusratkaisun integraatioon.

Eräs molemmissa testeissä havaittu käytettävyysspuute oli se, että käyttäjän löytäessä paikkaan sidottu kyselysivu, se avataan välittömästi käyttäjän näkyville taulutietokone-sovellukseen. Karttasivun äkillinen häviäminen aiheutti testikäyttäjälle hämmennystä. Testien perusteella voidaan ehdottaa seuraavia käyttöliittymämuutoksia:

1. Kun kyselynvastaaaja saapuu paikkaan sidotun kyselysivun sijaintiin, hänelle näytetään karttasivun päällä viesti, jossa kysytään haluaako hän avata löytyneen sivun.
2. Viestin avautumisesta tiedotetaan käyttäjälle ääni- ja tuntoaistipalautteen kautta. Äänipalautteena voi toimia esimerkiksi taulutietokoneen kaiuttimet. Tuntopalaute voidaan toteuttaa puolestaan taulutietokoneen värinä toiminnallisuutta hyödyntäen.

5 Yhteenveto

Tämän tutkimuksen motivaationa oli edesauttaa Quali-kyselytutkimussovelluksen käyttöä tilojen käytettävyystudkimuksen tiedonkeruutyökaluna. Tutkimuksen lähtökohtana oli oletus, että tilojen käytettävyystudkimuksessa tehtävää tiedonkeruuta voitaisiin edesauttaa sähköisellä kyselysovelluksella, joka pystyisi keräämään tilaan tai paikkaan liittyvän käyttökokemuksen lisäksi myös paikkatietoa. Paikkatiedon avulla käyttäjien käyttökokemukset voidaan liittää paikkatietokontekstiin. Paikkatietokontekstin avulla kerättyä käyttökokemusaineistoa voidaan analysoida esimerkiksi erilaisten paikkatietanalyysien avulla.

Tutkimuksen tavoitteen saavuttamiseksi asetettiin neljä tutkimuskysymystä. Tutkimuskysymykset olivat: 1) Millaisia sisätilapaikannusratkaisuja on olemassa? 2) Mikä olemassa olevista sisätilapaikannusratkaisuista soveltuu parhaiten Quali-kyselytutkimussovellukseen? 3) Miten sisätilapaikannusratkaisun ja kyselytutkimussovelluksen integraatio on toteutettavissa? 4) Miten toteutettu prototyyppi toimii reaaliolosuhteissa?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi, tehtiin kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksen perusteella saatiin selville sisätilapaikannuksen erilaisia teknisiä vaihtoehtoja. Sisätilapaikannuksen eri tekniset vaihtoehdot voidaan ryhmitellä karkeasti kolmeen laajaan ryhmään. Näitä ovat kolmiointi-, läheisyys- ja tietokantakorrelaatioperustaiset menetelmät.

Kolmiointiperustaisissa menetelmissä perusajatuksena on laskea paikannettavan laitteen sijainti kolmion geometrinen ominaisuuksien avulla. Sisätilapaikannuksessa esimerkiksi pseudoliittejä hyödyntävät paikannusratkaisut kuuluvat kolmiointimenetelmiin. Läheisyysmenetelmissä paikannettavan laitteen sijainti määräytyy yksinkertaisimmillaan voimakkainta paikannussignaalia lähettävän tunnetun referenssipisteen perusteella. Eri-laiset RFID- ja sensoriverkkoperustaiset menetelmät kuuluvat tähän ryhmään. Tietokantakorrelaatioon perustuvissa menetelmissä paikannus perustuu havaintoon, että eri signaalinlähteistä tulevien paikannussignaalien voimakkuusarvot korreloivat voimakkaasti havainnointilaitteen sijainnin kanssa. Tietokantakorrelaatiomenetelmissä suoritetaan ensin paikannustietokannan muodostaminen. Tämä tapahtuu tallentamalla paikannussignaalien voimakkuusarvot yhdessä niiden havainnointipaikan kanssa tietokantaan.

Paikannus tapahtuu vertaamalla reaaliaikaisesti havaittuja signaaliarvoja tallennettuihin signaaliarvoihin. Tietokantakorrelaatiomenetelmistä käytetään usein myös nimitystä sormenjälkipaikannus.

Vastaus toiseen tutkimuskysymykseen saatiin kaksivaiheisen prosessin avulla. Prosessin ensimmäisen osan tavoitteena oli valita Quali-kyselytutkimussovellukseen parhaiten soveltuva paikannusteknologia. Valinnan tukena käytettiin tutkimuksen yhteydessä tehdystä kirjallisuuskatsauksesta saatuja tuloksia. Paikannusteknologiaksi valittiin WLAN-verkkoa hyödyntävä sormenjälkipaikannus. Pääasiallinen syy valintaan oli se, että kyselytutkimussovelluksen kohteena olevia tiloja voi olla useita. Kyselyn kohteena olevat tilat voivat myös vaihdella huomattavan paljon eikä niiden tutkimiseen käytettävä aika ole kovinkaan pitkä. Tästä syystä sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto ei saa aiheuttaa huomattavia ajallisia tai taloudellisia kustannuksia. Sormenjälkipaikannuksessa ei vaadita muiden sisätilapaikannusteknologioiden tavoin erillistä paikannusinfrastruktuuria, joten sen käyttöönotto on verrattain edullista. Sormenjälkipaikannuksen etuna on myös se, että paikannus voidaan tehdä ilman erillisiä lisälaitteita taulutietokoneen WLAN-vastaanotinta hyödyntäen.

Prosessin toisen vaiheen tavoitteena oli löytää kolmannen osapuolen sisätilapaikannusratkaisu, joka perustuu valittuun paikannusteknologiaan. Kaupallisen ratkaisun valinta perustui epäformaaliin markkinatutkimukseen. Markkinatutkimuksessa kartoitettiin sormenjälkipaikannukseen perustuvia erilaisia kaupallisia ratkaisuvaihtoehtoja. Tavoitteena oli löytää sormenjälkipaikannukseen perustuva sisätilapaikannusratkaisu, joka tarjoaa integraation kannalta välttämättömän ohjelmointirajapinnan. Lisäksi paikannusratkaisun haluttiin tukevan standardeja WGS84-koordinaatteja, jotta sisätila- ja GPS-paikannuksen välinen vaihto voitaisiin toteuttaa saumattomasti. Markkinatutkimuksessa havaittiin, että sormenjälkipaikannukseen perustuvat kaupalliset paikannusratkaisut ovat vasta tulossa markkinoille eikä vaihtoehtoja löytynyt useita. Markkinatutkimuksen tuloksena kaupalliseksi ratkaisuksi valittiin Qubulus nimisen yrityksen tarjoama WLAN- ja GSM-signaaleja hyödyntävä sormenjälkipaikannusperustainen sisätilapaikannusratkaisu.

Kolmannen tutkimuskysymyksen tavoitteena oli toteuttaa sisätilapaikannusratkaisun ja Quali-kyselytutkimussovelluksen integraatio. Integraation toteutus eteni kolmessa osittain samanaikaisesti toteutetussa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe oli olemassa olevan järjestelmän ja siihen liittyvien teknologioiden kartoitus ja dokumentointi sekä integraa-

tion toteutuksen suunnittelu. Toisessa vaiheessa määritettiin tämän tutkimuksen yhteydessä toteutettavat käyttötapaukset. Toteutettuja käyttötapauksia olivat *Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto* ja *Sijaintiin sidotut kyselysivut*. Käyttötapauksen tavoitteena oli toteuttaa Quali-kyselytutkimussovellukseen toiminnallisuudet paikannuksen käyttöönottoon ja sen testaamiseen käytännössä. Integraation kolmas vaihe oli varsinainen toteutus. Käytännössä tämä tarkoitti Quali-kyselytutkimussovelluksen palvelin- ja taulutietokoneosassa tapahtuvaa ohjelmointi- ja tietokantamäärittelytyötä sekä tehtyjen muutosten dokumentointia.

Viimeisen tutkimuskysymyksen tavoitteena oli testata toteutettujen toiminnallisuuksien käytettävyyttä sekä sisä- ja ulkotilapaikannuksen toimivuutta käytännössä. Käytettävyydestä testauksessa löydettiin muutamia käytettävyyssongelmia. Korjausehdotukset löytyneille käytettävyyssongelmille olivat: 1) Kyselysivujen sijaintiin linkittämistä varten tehty työympäristö liitetään osaksi kyselyn editointi toiminnallisuuksia. 2) Karttasivua kuvastava staattinen kuva muutetaan interaktiiviseksi kartaksi, jota on mahdollisuus zoomata ja, jonka päällä esitetään paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnit. 3) Kun kyselynvastaaja saapuu paikkaan sidotun kyselysivun sijaintiin, hänelle näytetään karttasivun päällä viesti, jossa kysytään haluaako hän avata löytyneen sivun. 4) Viestin avautumisesta tiedotetaan käyttäjälle ääni- ja tuntoaistipalautteen kautta. Äänipalautteenä voi toimia esimerkiksi taulutietokoneen kaiuttimet. Tuntopalaute voidaan toteuttaa puolestaan taulutietokoneen värinätoiminnallisuutta hyödyntäen.

Paikannuksen testauksessa havaittiin, että GPS-paikannus toimi hyvin sille tämän tutkimuksen yhteydessä tarkoitetussa käyttötarkoituksessa. Sen sijaan sisätilapaikannusratkaisun toiminta osoittautui epävakaa. Paikannuksen tarkkuudessa havaittiin suuria vaihteluita paikannettavan tilan eri osissa. Paikannusratkaisun heikon toimivuuden mahdollisiksi syiksi tunnistettiin paikannettavan tilan WLAN-tukiasemien epäsuotuisa sijoittelu, muutokset kartoitettavassa tilassa, eroavuudet nauhoituksessa ja paikannuksessa käytettyjen laitteiden välillä sekä ihmislähtöiset virheet nauhoitusvaiheessa. Täysin varmaa syytä sisätilapaikannuksen heikkoon toimintaan ei tämän tutkimuksen puitteissa ollut mahdollista määrittää, mutta sen selvittämiseksi tullaan mahdollisesti järjestämään toinen sisätilapaikannuksen testaus. Jotta toimimattomuuden mahdolliset syyt saadaan eliminoiduiksi, seuraava testaus tullaan suorittamaan kontrolloidummassa tes-

tiympäristössä, jossa paikannuksen mahdollisia virhelähteitä voidaan eliminoida asteittain.

Toinen ratkaisuvaihtoehto on toteuttaa tässä tutkimuksessa esitetyn kaltainen integraatio jollekin toiselle kolmannen osapuolen paikannusratkaisulle. Esimerkiksi sormenjälkipaikannuksen ja inertiasensoreiden yhteiskäyttöön perustuvat sisätilapaikannusratkaisut voisivat toimia paremmin tiloissa, joissa WLAN-verkkoon perustuvaa paikannusta ei voida kuuluvuusongelmien hyödyntää kaikkialla. Integraation toteutuksessa voidaan hyödyntää tämän tutkimuksen yhteydessä esitettyjä teknisiä ratkaisuperiaatteita.

Seuraavan testin tavoitteena on tarkentaa paikannettavalle tilalle asetettavia vaatimuksia siten, että tilassa, jossa määritetyt vaatimukset täyttyvät, paikannus toimii riittävällä tarkkuudella. Sisätilapaikannustestauksen yhtenä tuloksena voidaankin nähdä alkuasetelma seuraavalle testaukselle.

Tämän tutkimuksen yhteydessä nousi esille tarve uusille lisätutkimuksen kohteille. Välitön, suoraan tähän tutkimukseen liittyvä, lisätutkimuksen kohde on sisätilapaikannuksen epätarkkuuteen johtaneiden syiden varmistaminen ja niiden korjaaminen. Qualikyselytutkimussovelluksen kannalta lisätyötä tarvitaan myös esille nousseiden käytettävyysongelmien korjaamiseen. Yleisemmällä tasolla lisätutkimuksia tarvitaan esimerkiksi paikannettavan tilan arkkitehtuurin, pintamateriaalien ja liikkuvien osien vaikutuksista paikannustarkkuuteen. Lisätutkimuksia tarvitaan myös WLAN-tukiasemien optimaalisen sijoittelun suunnittelussa siten, että se tukee sujuvan tiedonvälityksen lisäksi myös sisätilapaikannusta.

Sisätiloissa tapahtuva sormenjälkipaikannus on vielä varsin tuore teknologia. Sormenjälkipaikannukseen perustuvia sisätilapaikannusratkaisuja on ilmestynyt markkinoille vasta viimeisten vuosien aikana. Aiheeseen liittyvää tutkimustakin on tehty vasta reilun kymmenen vuoden ajan.

Sormenjälkipaikannuksen etuina ovat etenkin sen käyttöönoton edulliset kustannukset ja mahdollisuus hyödyntää lähes mitä tahansa radiotaajuussignaalia paikannuksen tukena. Tällä hetkellä sormenjälkipaikannuksen aikaa vievin osuus on radiokartan muodostaminen ja sen ylläpito signaalinlähteiden tai paikannettavan sisätilan muuttuessa. Uusimmissa tutkimuksissa onkin kehitetty erilaisia menetelmiä radiokartan automaattiseen muodostamiseen ja ylläpitoon. Myös kaupallisia ratkaisuja, joissa radiokartan muodos-

taminen ja ylläpito on automatisoitu, on ilmestymässä markkinoille. Seuraavien vuosien aikana voidaan odottaa merkittäviä kehitysaskelia sormenjälkipaikannuksessa.

Viimeisimpänä tulevaisuuden suuntana voidaan nähdä mobiililaitteen kiihtyvyyssantureihin, GPS-satelliitteihin, sormenjälkipaikannukseen ja automaattiseen sormenjälkien keräämiseen ristiinreferoinnin avulla perustuvat paikannusratkaisut. Ratkaisujen tavoitteena on luoda globaali, myös sisätilat kattava, paikannusverkosto. Tällaisia paikannusratkaisuja ovat tiettävästi kehittämässä esimerkiksi Google ja SenseWhere. Globaalin ja kaikkialla toimivan paikannusratkaisun käyttöönottoon voi kulua vielä vuosia, mutta valmistuttuaan, se tarjoaa lukemattomia uusia mahdollisuuksia sijaintitietoisensovellusten kehittämiseen.

Lähteet

Ainoa, J. & Alho, J. & Nenonen, S. & Nissinen, K. 2010. Käytettävä kauppakeskus. 2nd ed. Espoo, Finland: Multiprint Oy. 113 S. Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion julkaisuja TKK-R-B25. ISBN 978-952-60-3526-0 (Painettu). ISBN 978-952-60-3526-0 (Sähköinen).

Alexander, K. Usability: philosophy and concepts. 2008. Teoksessa: Alexander, K. (ed), Usability of workplaces – Phase 2. Rotterdam, Netherlands: In-house publishing. CIB W 111 report 316. ISBN: 978-90-6363-057-7.

Astrain, J. J. & Villadangos, J. & Garitagoitia, J. R. & González de Mendivil, J. R. 2006. Fuzzy Location and Tracking on Wireless Networks. Teoksessa: Proceedings of the 4th ACM international workshop on Mobility management and wireless access (MobiWac '06). Torremolinos, Spain. 2.10.2006. New York, NY, USA: ACM. S. 84 - 91. DOI: 10.1145/1164783.1164798. ISBN 1-59593-488-X.

Baala, O. & Caminda, A. 2006. WLAN-based Indoor Positioning System: experimental results for stationary and tracking MS. Teoksessa: Communication Technology, 2006. ICCT '06. International Conference on. Guilin, China. 27-30.11.2006. IEEE. S. 1-4. ISBN 1-4244-0800-8 (painettu). ISBN 1-4244-0801-6 (sähköinen). DOI: 10.1109/ICCT.2006.341742.

Bahl, P. & Padmanabhan, V. N. 2000. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. Teoksessa: Proceedings of IEEE INFOCOM 2000. Tel Aviv, Israel. 26-30.3.2000. IEEE. Vol. 2:c. S. 775 – 784. ISSN 00900036. DOI: 10.1109/INFCOM.2000.832252.

Bahl, P. & Padmanabhan, V. N. & Balachandran, A. 2000. Enhancements to the RADAR User Location and Tracking System. Microsoft Research. [Verkkolehti] Vol. 2: MSR-TR-2000-12. S.775–784. [Viitattu 30.1.2012]. DOI: 10.1.1.35.7570.

Badawy, O. M. & Hasan, M. A. B. 2007. Decision Tree Approach to Estimate User Location in WLAN Based on Location Fingerprinting. Teoksessa: Proceedings of 24th National Radio Science Conference. Cairo, Egypt. 13-15.3.2007. S. 1-10. ISBN 977-5031-86-9. DOI: 10.1109/NRSC.2007.371395.

Barnes, J. & Rizos, C. & Wang, J. 2003. Locata: A New Positioning Technology for High precision Indoor and Outdoor Positioning. Teoksessa: Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS 2003). Portland, USA. 9-12.2003. S. 1119-1128. DOI: 10.1.1.73.953.

Blakstad, S. H. & Olsson, N. & Hansen, G. K. & Kundsén, W. 2010. Usability mapping tool. In Alexander, K. (ed) Usability of Workplaces – Phase 3. Rotterdam, Netherlands: International Council for Research and Innovation in Building and Construction. S. 17-29. ISBN: 978-90-6363-061-4.

Dawes, B. & Chin, K-W. 2010. A comparison of deterministic and probabilistic methods for indoor localization. The Journal of Systems and Software. [Verkkolehti]. Vol. 84. S.442 – 451. [Viitattu 24.1.2012]. DOI: 10.1016/j.jss.2010.11.888.

- Deasy, T. P. & Scanlon, W. G. 2004. Accuracy improvement algorithms for prediction of user location using received signal strength indication in infrastructure WLANS. Teoksessa: Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 15th IEEE International Symposium on. 5-8.9.2004. IEEE. Vol. 3. S. 1757 – 1761. ISBN 0-7803-8523-3. DOI: 10.1109/PIMRC.2004.1368301.
- Grails. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.4.2012]. Saatavilla: <http://www.grails.org/>.
- Gu, Y. & Lo, A. 2009. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials. [Verkkolehti]. Vol. 11:1. S. 13-32. [Viitattu 23.1.2012]. DOI: 10.1109/SURV.2009.0901103.
- Gwon, Y. & Jain, R. & Kawahare, T. 2004. Robust Indoor Location Estimation of Stationary and Mobile Users. Teoksessa: Proceedings IEEE Infocom, Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Hong Kong, China. 7-11.2004. S. 1032-1043. ISSN 0743-166X. DOI: 10.1109/INFCOM.2004.1356990.
- Elnahrawy, E. & Li, X. & Martin, R. P. 2004. The Limits of Localization Using Signal Strength: A Comparative Study. In Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on. Santa Clara, CA, USA. 4-7.10.2004. S. 406-414. ISBN 0-7803-8796-1. DOI: 10.1109/SAHCN.2004.1381942.
- Ekahau. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.3.2012]. Saatavilla: <http://www.ekahau.com/>.
- Evennou, F. & Marx, F. 2005. Advanced Integration of WiFi and Inertia Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning. EURASIP Journal on Applied Signal Processing. [Verkkolehti]. Vol. 2006: 86706. S. 1-11. [Viitattu 20.6.2012]. DOI: 10.1155/ASP/2006/86706.
- Hibernate. [WWW_dokumentti]. [Viitattu 15.4.2012]. Saatavilla: <http://www.hibernate.org>.
- Hibernate Spatial. [WWW_dokumentti]. [Viitattu 15.4.2012]. Saatavilla: <http://www.hibernate.org>.
- Hightower, J. & Borriello, G. 2001. Location Systems for Ubiquitous Computing. Computer. [Verkkolehti]. Vol. 34:8. [Viitattu 25.1.2012]. DOI: 10.1109/2.940014.
- Ji, Y. & Biaz, S. & Pandey, S. & Agrawal, P. 2006. ARIADNE: a dynamic indoor signal map construction and localization system. Teoksessa: Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services. Upsala, Sweden. 19-22.6.2006. New Yourk, USA: ACM. ISBN 1-59593-195-3. DOI: 10.1145/1134680.1134697.
- JQuery. [WWW_dokumentti]. [Viitattu 15.4.2012]. Saatavilla: <http://www.jquery.com>.
- Kim, Y. & Chon, Y. & Cha, H. 2012. Smartphone-Based Collaborative and Autonomous Radio Fingerprinting. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and reviews. [Verkkolehti]. Vol. 42:1. S. 112-122. [Viitattu 16.6.2012]. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2093516.

- Laitinen, H. & Ahonen, S. & Sofoklis, K. & Lähteenmäki, J. & Raffaele, M. & Parkkila, S. 2001. Cellular Location Technology. CELLO project report. [Viitattu 31.5.2012]. Saatavilla: http://lyle.smu.edu/~rajand/courses/8377/papers/e911_recent.pdf.
- Lindahl, G. & Blakstad, S. H. & Hansen, G. K. & Nenonen, S. USEframe – A framework to understand and map usability research. Teoksessa: Haugbolle, K. & Gottlieb, S. C. & Kähkönen, K. E. & Klakegg, O. J. Lindahl, G. A. & Widén, K. 6th Conference on Construction Economics and Organisation – Shaping the Construction / Society Nexus. Copenhagen, Denmark. 13–15.4. 2011. Danish Building Research Institute, Aalborg University. Vol. 1: Clients and Users. S. 83 – 94. ISBN 978-87-563-1516-6.
- Liu, H. & Darabi, H. & Banerjee, P. & Liu, J. 2007. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and reviews. [Verkkolehti]. Vol. 37:6. S. 1067-1080. [Viitattu 23.1.2012]. DOI: 10.1109/TSMCC.2007.905750.
- Mengual, L. & Marban, O. & Eibe, S. 2010. Clustering-based location in wireless networks. Expert Systems with Applications. [Verkkolehti]. Vol. 37:9. S. 6165 – 6175. [Viitattu 25.1.2012]. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.02.111.
- Nielsen, J. 1994. Usability inspection methods. Teoksessa: Proceeding CHI '94 Conference companion on Human factors in computing systems. Boston, MA, USA. 24-28.4.1994. New York, USA: ACM. S. 413-414. ISBN 0-89791-651-4. DOI: 10.1145/259963.260531.
- Nenonen, S. & Rasila, H. & Junnonen, J-M. Kärnä, S. 2008. Customer Journey – a method to investigate user experience. Teoksessa: Alexander, K. (ed) Usability of Workplaces – Phase 2. Rotterdam, Netherlands: Netherlands: In-house publishing. CIB W 111 report 316. S. 54-63. [Viitattu 28.5.2012]. ISBN: 978-90-6363-057-7.
- Kaasinen, E. 2003. User needs for location-aware mobile services. Personal and Ubiquitous Computing. [Verkkolehti]. Vol. 7:1. S. 70-79. [Viitattu 10.5.2012]. DOI: 10.1007/s00779-002-0214-7.
- Kaemarungsi, K. & Krisnamurthy, P. 2004. Modelling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting. Teoksessa: INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Hong Kong. 7-11.11.2004. IEEE. Vol. 2. S. 1012-1022. ISSN 0743-166X. DOI: 10.1109/INFCOM.2004.1356988.
- Kaemarungsi, K. & Krisnamurthy, P. 2004. Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting. Teoksessa: Proceedings of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services. Boston, Massachusetts, USA .22-26.8.2004. AAAI, IEEE, ACM, European Union's IST program. S. 14-23. ISBN 0-7695-2208-4. DOI: 10.1109/MOBIQ.2004.1331706.
- Kaplan, E. D. & Leva, J. L. & Milbert, D. & Pavloff, M. S. 2006. Fundamentals of Satellite Navigation. Teoksessa: Kaplan, E. D. & Hegarty, C. (eds) Understanding GPS: principles and applications. 2nd ed. USA: Artech House Inc. S. 21-110. ISBN: 1-58053-894-0.

- Kim, J. & Lee, D. & Chung, K. 2011. Efficient Indoor Location-Based System using Sensor Networks. *International Journal of Computer Science and Network Security*. [Verkkolehti]. Vol. 11:6. S. 134-140. [Viitattu 1.2.2012]. ISSN 1738-7906. Saatavilla: http://paper.ijcsns.org/07_book/201106/20110620.pdf.
- Kim, Y. & Chon, Y. & Cha, H. 2012. Smartphone-Based Collaborative and Autonomous Radio Fingerprinting. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and reviews*. [Verkkolehti] Vol. 42:1. S. 112 – 122. [Viitattu 5.2.2012]. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2093516.
- Kingston, S. & Carver, S. & Evans, A. & Turton, I. 2000. Web-based public participation geographical information systems: an aid to local environment decision-making. *Computers, Environment and Urban Systems*. [Verkkolehti]. Vol. 24:2. S. 109-125. [Viitattu 10.5.2012]. DOI: 10.1016/S0198-9715(99)00049-6. ISSN 01989715.
- Lankinen, M. & Lääperi, L. & Heikura, T. & Suontaus, J-P. 2012. Quali, Tekninen dokumentaatio. Luottamuksellinen dokumentti. S. 19.
- Otsason, V. & Varshavsky, A. & LaMarca, A. & de Lara, E. 2005. Accurate GSM indoor localization. Teoksessa: Beigl, M. & Intille, S. & Rekimoto, J. & Tokuda, H. (eds) *UbiComp 2005: Ubiquitous Computing*. Berlin, Germany: Springer. S. 141 – 158. DOI: 10.1007/11551201_9. ISBN: 978-3-540-28760-5.
- Pahlavan, K. & Xinrong, L. & Mäkelä, J-P. 2002. Indoor Geolocation Science and Technology. *IEEE Communications Magazine*. [Verkkolehti]. Vol. 40:2. S. 112-118. [Viitattu 23.1.2012]. DOI: 10.1109/35.983917.
- Qubulus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: <http://www.qubulus.com/>.
- Qubulus – Gecko GPS corner coordinate guide. 2012. [WWW-dokumentti]. Revision: A. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: http://www.qubulus.com/locizard/docs/gps_corner_guide.pdf.
- Qubulus – Gecko Recording and Exporting. 2012. [WWW-dokumentti]. Revision: 1.0.2.D. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: http://www.qubulus.com/locizard/docs/recording_and_exporting.pdf.
- Qubulus - Technology. 2012. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: <http://www.qubulus.com/what-we-do/our-technology/>.
- Polestar: NAO Campus. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 10.4.2012]. Saatavilla: <http://www.polestar.eu/en/nao-campus/technology-overview.html>.
- SenionLab Indoor Navigation Solutions. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 10.4.2012]. Saatavilla: <http://www.senionlab.com/products.html>.
- SQLite. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 10.4.2012]. Saatavilla: <http://www.sqlite.org>.
- Rantanen, H. & Kahila, M. 2008. The SoftGIS approach to local knowledge. *Journal of Environmental Management*. [Verkkolehti]. Vol. 90:6. S. 1981-1990. [Viitattu 29.5.2012]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.08.025.

Roos, T. & Myllymäki, P. & Tirri, H. & Misikangas, P. & Sievänen, J. 2002. A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*. [Verkkolehti]. Vol. 9:3. S. 155 – 163. [Viitattu 20.2.2012]. DOI: 10.1023/A:1016003126882.

Ruiz, A. R. J. & Granja, F. S. G. & Honorato, J. C. P. & Rosas, J. I. G. 2011. Accurate Pedestrian Indoor Navigation by Tightly Coupling Foot-Mounted IMU and RFID Measurements. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*. [Verkkolehti] Vol. 61:1. [Viitattu 20.6.2012]. DOI: 10.1109/TIM.2011.2159317.

Sensewhere. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 15.6.2012]. Saatavilla: <http://www.sensewhere.com>.

Tesoriero, R. & Tebar, R. & Gallud, J. A. & Lozano, M. D. 2010. Improving location awareness in indoor spaces using RFID technology. *Expert Systems with Applications*. [Verkkolehti]. Vol. 37. S. 894-898. [Viitattu 18.2.2012]. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.05.062.

Uotila, V. & Skogster, P. 2007. Space management in a DIY store analyzing consumer shopping paths with data-tracking devices. *Facilities*. [Verkkolehti]. Vol. 25:9/10. S. 363-374. [Viitattu 28.5.2012]. DOI: 10.1108/02632770710772469.

Yim, J. & Park, C. & Joo, J. & Jeong, S. 2008. Extended Kalman Filter for wireless LAN based indoor positioning. *Decision Support Systems*. [Verkkolehti]. Vol 45. S. 960-971. [Viitattu 25.1.2011]. DOI: 10.1016/j.dss.2008.03.004.

Walkbase. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 16.3.2012]. Saatavilla: <http://walkbase.com/>.

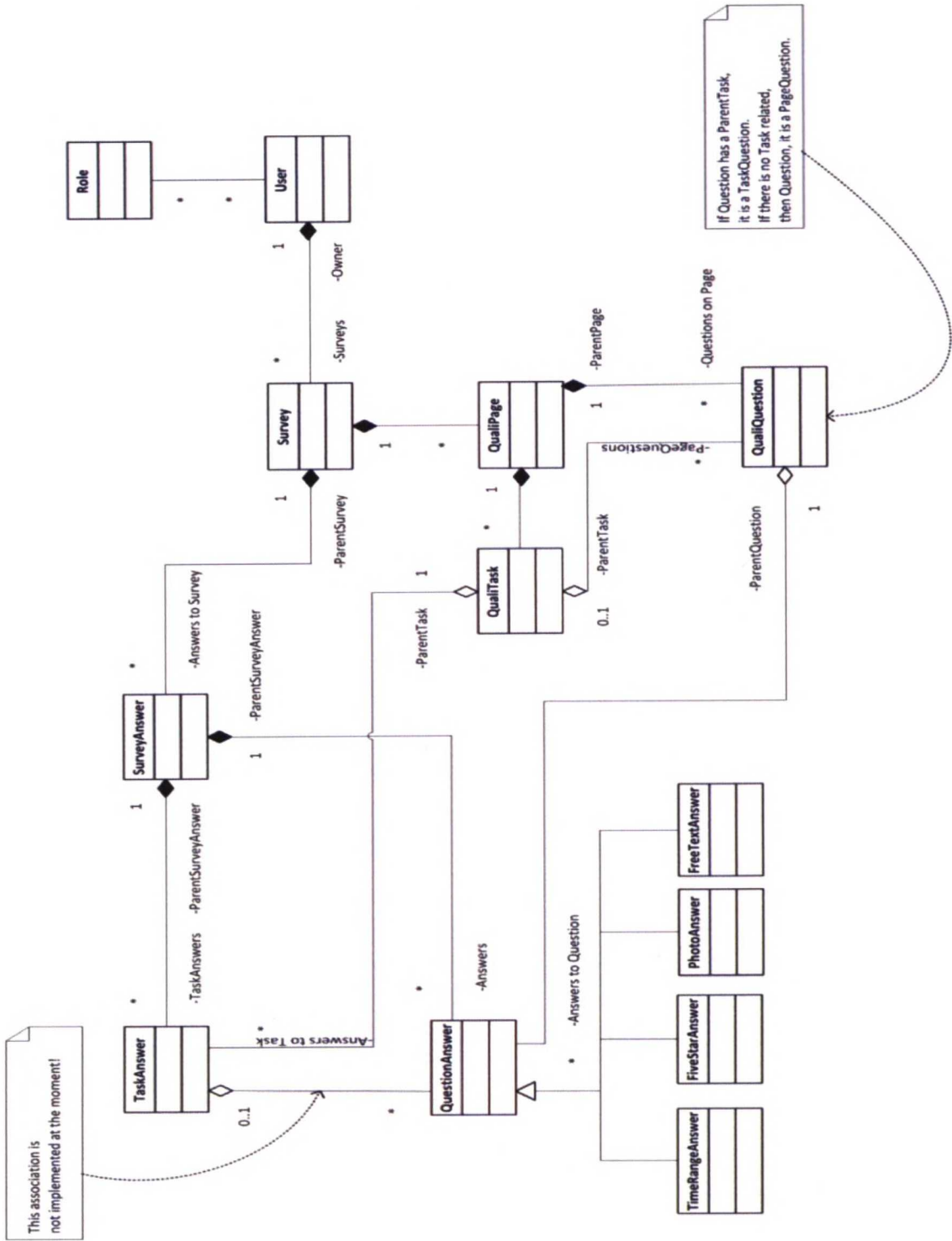
Wan, X. & Zhan, X. 2011. The Research of Indoor Navigation System using Pseudolites. *Procedia Engineering*. [Verkkolehti]. Vol: 15. S. 1446-1450. [Viitattu 25.1.2012]. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.08.268.

Want, R. & Hopper, A. & Falcão, V. & Gibbons, J. 1992. The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems*. [Verkkolehti]. Vol: 10:1. S. 91-102. [Viitattu 13.6.2012]. DOI: 10.1145/128756.128759.

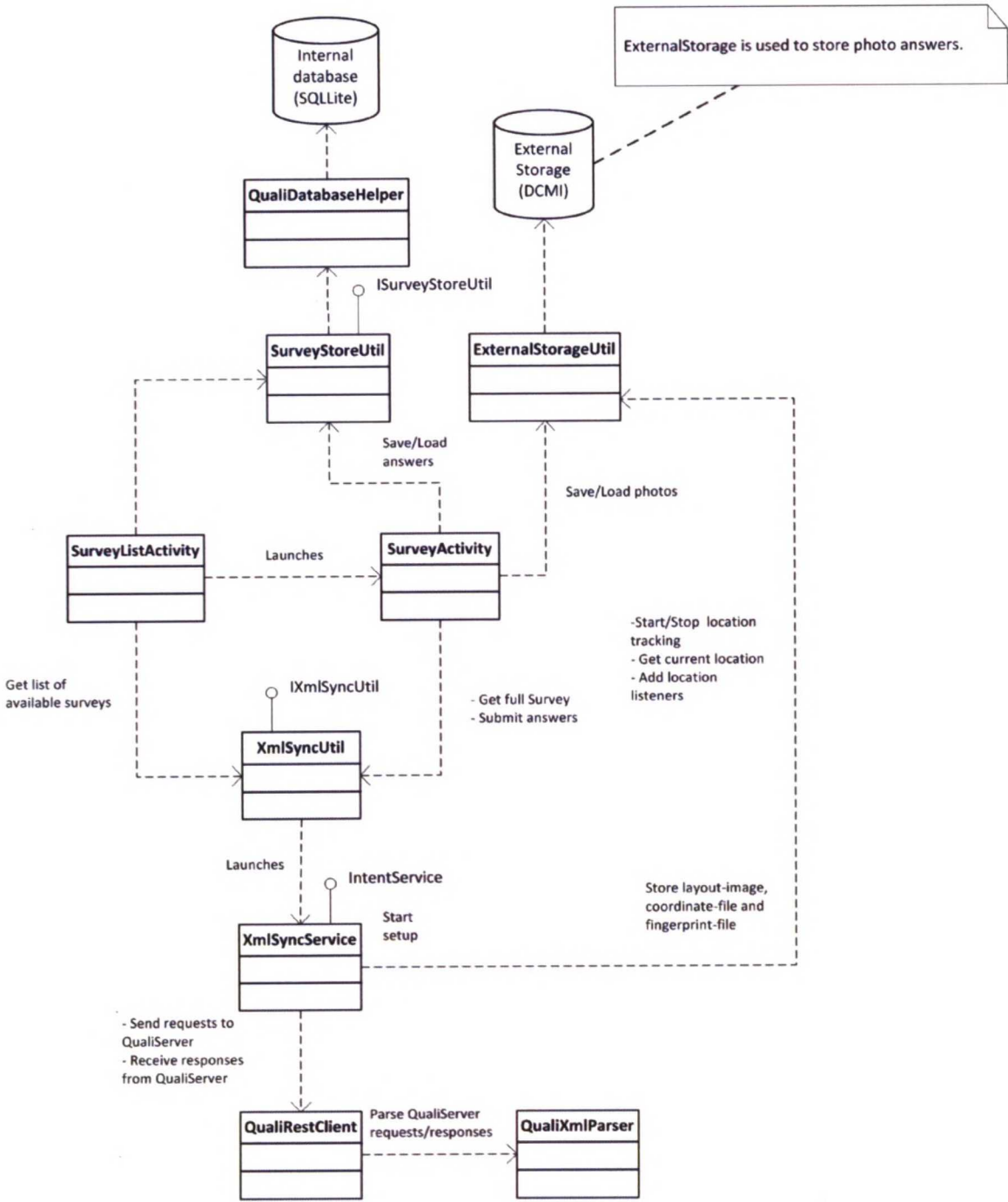
Woodman, O. J. 2007. An introduction to inertia navigation. University of Cambridge. 37 S. Technical Report UCAM-CL-TR-696. ISSN 1476-2986. Saatavilla: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>.

Liitteet

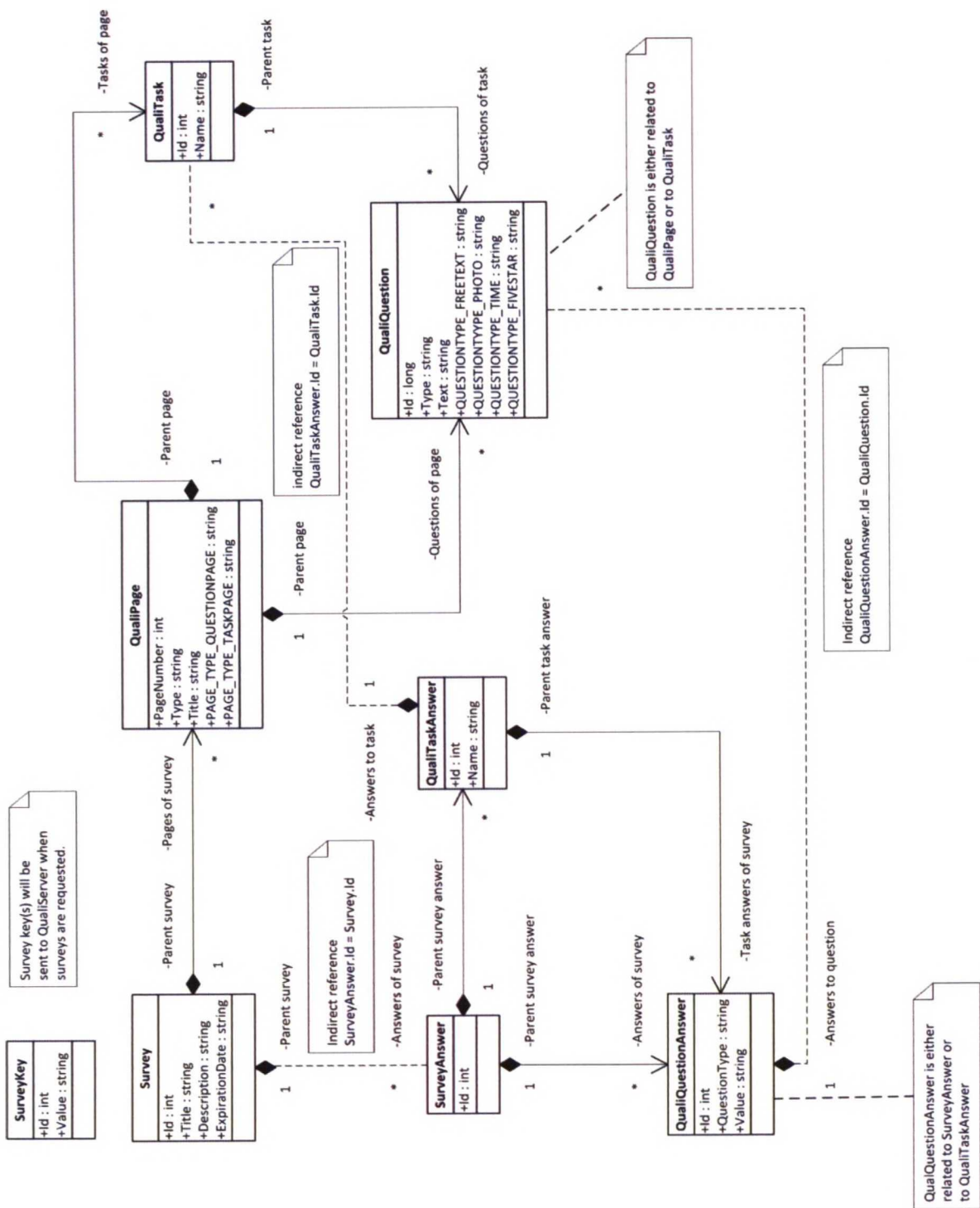
Liite 1: Quali-palvelinsovelluksen alkuperäiset malliluokat ja niiden väliset relaatiot



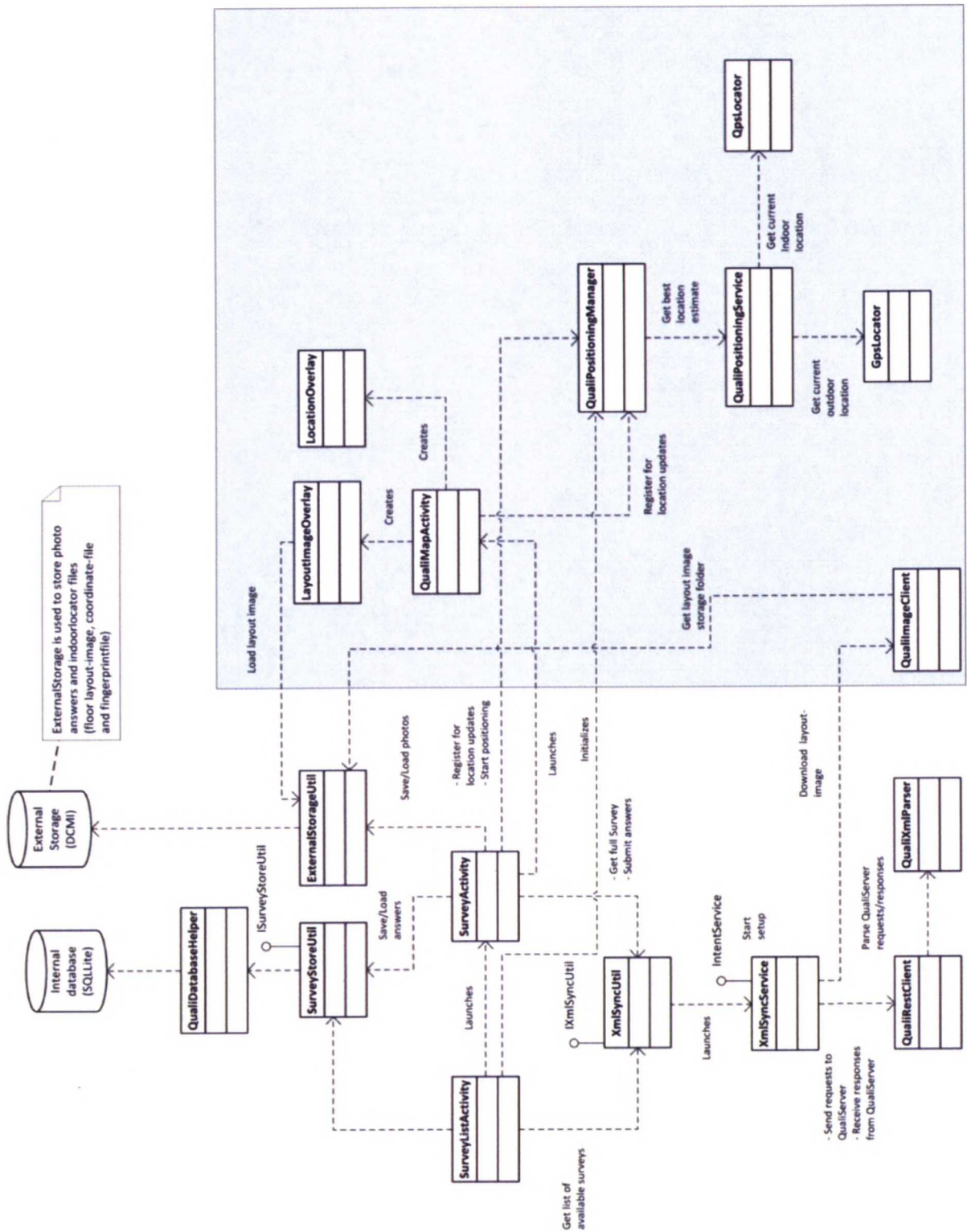
Liite 2: Quali-taulutietokonesovelluksen sovellusarkkitehtuuri ennen integraatiota



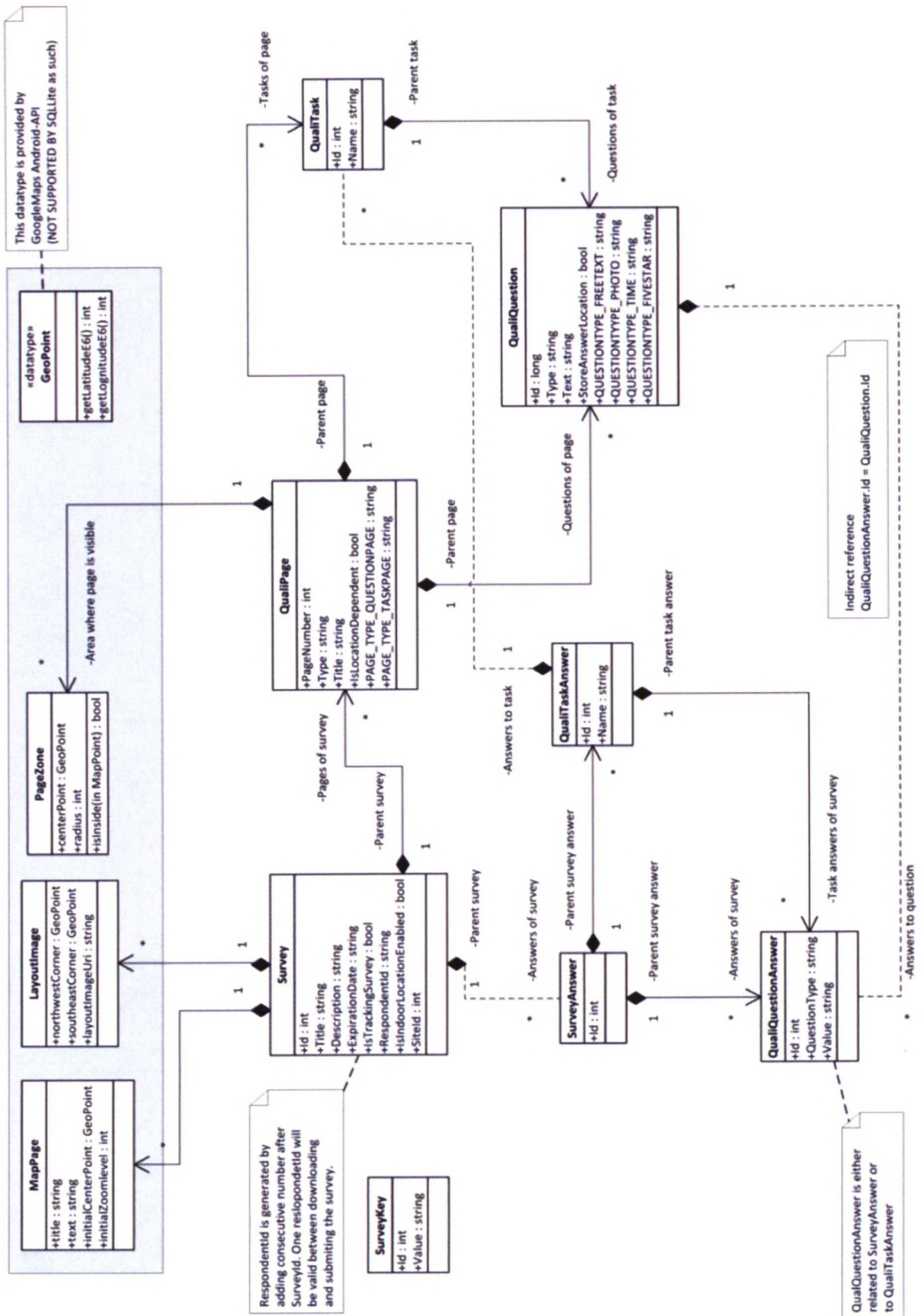
Liite 3: Quali-taulutietokonesovelluksen tietokantaluokat ennen integraatiota



Liite 5: Quali-tilutietokonesovelluksen arkkitehtuurinkuvaus integraation jälkeen



Liite 6: Quali-taulutietokonesovelluksen tietokantaluokat integraation jälkeen



Liite 7: Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto, käyttötapauksen sanallinen kuvaus

Käyttötapauksen numero: 1.

Käyttötapauksen nimi: Sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto

Yhteenveto: Kyselynomistaja käyttää Quali-palvelinsovelluksen sisätilapaikannusratkaisun käyttöönotto toiminnallisuutta.

Pääkäyttäjä: Kyselynomistaja

Esiehdot: Kyselynomistaja on luonut Quali-palvelinsovelluksessa uuden kyselyn, kirjautunut sisään järjestelmään ja avannut sisätilapaikannuksen käyttöönottamiseksi tarkoitetun käyttöliittymän. Lisäksi hän on suorittanut paikannettavan sisätilan radiokartoituksen, lähettänyt kartoitustulokset käännettäväksi ja saanut vastauksena kokonaislukutyypisen paikannustunnuksen. Kyselyn omistajalla on myös hallussaan paikannettavan tilan pohjapiirros ja pohjapiirroksen kulmakoordinaatit tallennettuna tekstitiedostoon mikroasteina.

Pääkäyttäjän tavoitteet: Kyselynomistajan tavoitteena on ottaa käyttöön sisätilapaikannustoiminnallisuus luodun kyselyn yhteydessä.

Käyttötapauksen tyypillinen eteneminen:

1. Kyselynomistaja avaa ”Lataa pohjapiirros” toiminnon.
2. Järjestelmä näyttää tiedostonvalintadialogin.
3. Kyselynomistaja valitsee pohjapiirroksen tietokoneeltaan.
4. Järjestelmä lataa pohjapiirroksen ja näyttää ladatun tiedoston nimen.
5. Kyselynomistaja avaa ”Lataa koordinaattitiedosto” toiminnon.
6. Järjestelmä näyttää tiedostonvalintadialogin.
7. Kyselynomistaja valitsee koordinaattitiedoston tietokoneeltaan.
8. Järjestelmä lataa koordinaattitiedoston ja näyttää ladatun tiedoston nimen.

9. Kyselynomistaja syöttää paikannustunnuksen ja painaa hyväksymisnappia.
10. Järjestelmä tallentaa paikannustunnuksen, kääntää pohjapiirroksen siten, että pohjoinen osoittaa ylöspäin ja näyttää käyttäjälle paikannettavan tilan pohjapiirroksen asetettuna kartan päälle.
11. Kyselynomistaja tarkastaa, että pohjapiirros on oikeassa paikassa ja painaa hyväksymisnappia.
12. Järjestelmä ilmoittaa, että sisätilapaikannusratkaisu on otettu käyttöön onnistuneesti.

Poikkeukset:

3. Kyselynomistaja valitsee vääräntyyppisen tiedoston tietokoneeltaan
4. Järjestelmä näyttää virheviestin, joka kertoo sallitut tiedostomuodot.
7. Kyselynomistaja lataa koordinaattitiedoston, joka ei ole vaaditussa muodossa.
8. Järjestelmä näyttää virheviestin, joka kertoo, että annettua koordinaattitiedostoa ei voida lukea.
9. Kyselynomistajan antama paikannustunnus ei ole kokonaislukumuotoinen.
10. Järjestelmä näyttää virheviestin, joka kertoo, että annetun paikannustunnuksen tulee olla kokonaislukumuotoinen.
11. Kyselynomistaja huomaa, että pohjapiirros ei ole oikeassa paikassa.

12. Kyselynomistaja painaa ”palaa takaisin” nappia.

13. Järjestelmä näyttää edellisen näkymän.

14. Kyselynomistaja korjaa koordinaattitiedoston ja lataa sen uudelleen järjestelmään.

Lopputila: Sisätilapaikannustoiminnallisuus on otettu käyttöön kyselynomistajan valitsemassa kyselyssä.

Liite 8: Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen, käyttötapauksen sanallinen kuvaus

Käyttötapauksen numero: 2.

Käyttötapauksen nimi: Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen

Yhteenveto: Kyselynomistaja käyttää Quali-selainsovelluksen ”Liitä kyselysivu sijaintiin” toiminnallisuutta.

Aktorit: Kyselynomistaja

Esiehdot: Kyselynomistaja on kirjautunut järjestelmään ja luonut kyselyn.

Pääkäyttäjän tavoitteet: Kyselynomistaja haluaa liittää tietyt kyselyyn kuuluvat sivut paikkaan. Kyseiset paikkaan liitetyt sivut tulevat kyselyn vastaajan näkyville vasta, kun hän on sivulle määritetyssä paikassa.

Käyttötapauksen tyypillinen eteneminen:

1. Kyselynomistaja avaa kyselysivujen paikkaan liittämistoiminnon.
2. Järjestelmä avaa karttanäkymän. Jos kyselyyn on asennettu sisätilapaikannus, näytetään ladattu pohjapiirros kartan päällä.
3. Kyselynomistaja valitsee listalta sen kyselysivun, jonka hän haluaa liittää paikkaan.
4. Kyselynomistaja valitsee piirtotoiminnon ja piirtää kyselyn paikan kartalle ympyrän muotoisena kuviona.
5. Kyselynomistaja on liittänyt haluamansa kyselysivut sijaintiin. Kyselynomistaja siirtyy kyselysivujen lisäys näkymään.
6. Järjestelmä avaa kyselysivujen lisäysnäkymän. Järjestelmä korostaa visuaalisesti paikkaan liitetyt kyselysivut.
7. Kyselynomistaja lisää kyselyyn karttasivun.
8. Järjestelmä näyttää lisätyn karttasivun muiden kyselysivujen yhteydessä.

Poikkeukset

1. Kyselyyn ei ole luotu yhtään kyselysivua.
2. Järjestelmä ilmoittaa tästä kyselynomistajalle ja näyttää pikalinkin, jonka kautta kyselynomistaja pääsee luomaan kyselysivuja.

Lopputila: Halutut kyselynsivut on liitetty paikkaan. Kyselyyn on lisätty karttasivu, joka näyttää paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnin.

Liite 9: Paikkaan sidottuihin kyselysivuihin vastaaminen, käyttötapauksen sanallinen kuvaus

Käyttötapauksen numero: 3.

Käyttötapauksen nimi: Paikkaan sidottuihin kyselyihin vastaaminen

Yhteenveto: Kyselynvastaaja käyttää Quali-tilutietokonesovellusta kyselyyn vastaamiseen. Kyselynvastaaja etsii karttasivun avulla paikkaan sidotun kyselysivun.

Aktorit: Kyselynomistaja, kyselynvastaaja

Esiehdot: Kyselynomistaja on luonut ja julkaissut kyselyn, johon hän on tehnyt paikkaan sidottuja kyselysivuja ja lisännyt karttasivun. Kyselynvastaaja on ladannut kyselyn Quali-tilutietokonesovellukseen ja avannut sen.

Pääkäyttäjien tavoitteet: Kyselynomistaja haluaa saada kyselyn avulla tietoa jostakin fyysisestä paikasta. Kyselynvastaaja pyrkii löytämään paikan, johon kyselysivu on sidottu. Kyselynvastaaja havainnoi kyselysivun paikkaa, vastaa paikkaan liittyviin kysymyksiin ja palauttaa vastauksen.

Käyttötapauksen tyypillinen eteneminen:

1. Kyselynvastaaja avaa kyselyyn liittyvän karttasivun.
2. Järjestelmä hakee tarkimman arvion tilutietokoneen nykyisestä sijainnista.
3. Järjestelmä avaa karttanäkymän, kohdentaa sen käyttäjän sijaintiin ja korostaa visuaalisesti käyttäjän nykyisen sijainnin sekä paikkaan sidottujen kyselysivujen sijainnit kartalla.
4. Kyselynvastaaja lähtee liikkumaan kohti paikkaan sidottua kyselysivua.
5. Järjestelmä päivittää käyttäjän sijaintia kartalla tasaisin väliajoin.
6. Kyselynvastaaja saapuu paikkaan sidotun kyselysivun alueelle.
7. Järjestelmä huomauttaa käyttäjää tästä fyysisen värinäimpulssin avulla ja avaa sijaintiin liittyvän kyselysivun.

8. Kyselynvastaaja havainnoi paikkaa ja vastaa kyselysivulla esitettyihin kysymyksiin.

Poikkeukset:

2. Järjestelmä havaitsee, että taulutietokoneen GPS- ja/tai WLAN-toiminnallisuus ei ole kytkettynä päälle.
3. Järjestelmä näyttää kyselynvastaajalle viestin, jossa kehoitetaan kytkemään GPS- ja/tai WLAN-toiminnallisuus päälle.

Lopputila: Kyselynvastaaja on löytänyt paikkaan sidotun kyselysivun ja vastannut kyselysivun kysymyksiin.

Liite 10: Käyttötapaan ”Paikkaan sidottujen kyselysivujen luomisen” kohdistetun käyttäjätestauksen litteroitu nauhoite

Testi 1 - Paikkaan sidottujen kyselysivujen luominen

Dokumentissa käytetut lyhennykset:

Testaaja - T

Testikäyttäjä - U

Tehtävä 1: Luo kyselysivu, joka liittyy Aalto Design Factory:n kahvioon.

T: Ensimmäisenä sinun tulisi luoda uusi kyselysivu, jonka sijainti on Design Factory: n kahvio.

U: Ok, eli tähän valmiiksi tehtyyn kyselyyn.

T: Kyllä.

U: Selvä, ensimmäiseksi ajattelen, että avaan editointi näkymän.. Täällä ei näköjään olekaan mitään, eli pitää siis luoda uusi sivu.

T: Kyllä, ja sivun pitäisi liittyä Design Factory:n kahvioon.

U: Hmm, pitäisi varmaan painaa ”Add page”, mutta toisaalta en oikein tiedä mitä tämä ”Add page map” tarkoittaa.. Pitäisi varmaan painaa siitä, mutta painan kuitenkin ”Add page”.

U: Tästä tulee nyt, että ”Add Question page” tai ”Add task page”. Nyt mietin, että mitähän nämä on ja mikä näissä on erona. Valitsen kuitenkin ”Add task page”.

U: Eli siis piti luoda sivu.

T: Joo, ja haluttaisiin, että sivu on näkyvillä vain, jos vastaaja menee kahvioon.

U: Ahaa. Annan nyt tälle sivulle ensiksi nimen. Kokeilen ”Add question”... sieltä ei löytynyt. Painan ”Add page Map”.

U: Ahaa, tästä tuli toinen sivu missä on kartta. Nyt tuli sellainen olo, että pitäisiköhän tämä kuitenkin tehdä toisella tavalla... ehkä. Nimeän tämän toisen sivun kuitenkin.

U: Nyt painan ”Save and return” ja palasin kyselyn pääsivulle. Painan ”Location Features”.

U: Nyt tässä on vaihtoehtona ”Link Survey page to Location” ja ”Setup indoor positioning”.

U: Hmm... Tässä ei nyt näy mitään. Painan ”Setup indoor positioning”. Tässä on nyt näköjään valmiina kaksi pohjakuvaan. Eipäs vaan siinä onkin pohjakuva ja koordinaattitiedosto. Oletan nyt, että ne ovat valmiina. Painan ”Next”. Nyt tuli pohjapiirros näkyville. Tässä ei nyt saa tehtyä mitään. Ahaa, tässä on ”Ok” nappi. Nyt sain ilmeisesti tehtyä jotain ja mä painan nyt tästä ”Link Survey Page to Location”.

//Käyttäjä piirtää alueen kyselysivun alueen kartalle.

U: Nii just.. Painan nyt painan ”Save and return” ja nyt tämä on varmaan valmis.

Tehtävä 2: Luo kyselysivu, jonka kohteena on koko Otaniemen alue

T: Nyt sinun pitäisi luoda kyselysivu, joka on liitetty paikkaan ja jonka kohteena on koko Otaniemen kampus alue.

U: Olen nyt aloitussivulla ja painan "Edit Survey".

U: Nyt painan "Add page" ja "Add taskpage", koska tein näin myös viime kerralla. Ja nyt vielä nimeän sivun... Näin. Nyt painan "Save and return".

U: Nyt painan "Location Features" ja sitten painan ehkä "Link Survey page to location". Oletaisin, että näin se menee.

U: Valitsen valikosta Otaniemi-sivun.

//Käyttäjä piirtää alueen kyselysivun alueen kartalle ja painaa "Save and return".

U: Noin.

Tehtävä 3: Vaihda kyselysivun kohde.

T: Seuraavaksi sinun pitäisi vaihtaa edellä tekemäsi Design Factory:n kahviota koskeva kyselysivu koskemaan Design Factory:n Stage-tilaa. Sinun pitäisi siis vaihtaa kyselysivun paikka ja sen nimi.

U: Ok. Eli nyt mene "Edit this Survey". Täällä lukee "Cafis2" ja vaihdan tämän. "Save and return"

U: Nyt menen "Location Features" ja painan "Link Survey pages to Location".

U: Nyt huomaan, että nimi on muuttunut myös kartalla. Miksihän tämä kartta on sininen? Aivan, koska tässä Otaniemi on tässä päällä. Hmm.. Nyt valitsen valikosta "Stage".. Se onkin jo valmiiksi valittuna.

U: Nyt painan "Draw" ja sitten vain piirrän sen kartalle.

T: Ok.

Tehtävä 4: Poista paikkariippuvuus kyselysivusta.

T: Ok, nyt haluaisit, että Otaniemeen liitetty kyselysivu ei olisikaan paikkaan sidonnainen. Haluaisit siis, että Otaniemeä koskeva kyselysivu on näkyvillä vaikka kyselyynvastaaja ei olisikaan Otaniemiessä.

U: Hmm.. painan "Edit this Survey". Eli haluaisin tämän pois täältä.

//Testikäyttäjä osoittaa kyselysivun vasemmassa yläkulmassa olevaa maapalloa.

U: Tekisin tämän varmaan niin, että poistaisin kyselysivun ja lisäisin sen uudelleen.

U: Mutta taidan kuitenkin avata "Location Features". Valitsen valikosta Otaniemi sivun. Hmm... mikähän tämä "Remove" on. Ehkä se menee näin.. Eli valitsen vetovalikosta Otaniemi ja painan "Remove".

U: Nyt se taisi lähteä.

U: Nyt painan "Save and return" ja painan "Edit this Survey". Täällä ei enää ole maapalloa.. Eli näin se taisi mennä.

T: Ok.

Tehtävä 5: Karttasivun lisäys.

T: Seuraavaksi sinun tulisi lisätä kyselyyn sellainen sivu, josta kyselynvastaaja näkee paikkaansidottujen kyselysivujen sijainnit kartalla.

U: Nyt se on varmaan se "Add page map", jota ihmettelin testin alussa.

U: Tämä on nyt varmaan se.. Painan sitä.

U: Hmm.. Tämä nyt vaikuttaisi olevan se.. En ole täysin varma.

U: Tässä kartalla ei näy mitään eikä sitä voi zoomata.. Tulee sellainen olo, että pitäisikö niiden sivujen näkyä tässä. Luulisin, että se on kuitenkin näin.

T: Kyllä.